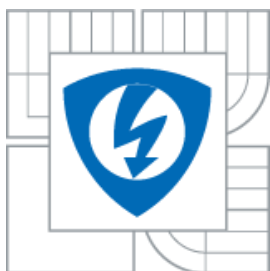




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

POVRCHOVÉ ÚPRAVY MĚDI PŘI VÝROBĚ DPS

SURFACE FINISHES OF COPPER IN PCBs PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Marek Bedlek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Marek Bedlek

ID: 115147

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Povrchové úpravy mědi při výrobě desek plošných spojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku povrchových úprav desek plošných spojů a podrobněji se soustředte na organické inhibitory oxidace mědi (OSP).

Prakticky odzkoušejte GLICOAT F2 v laboratoři PROTOCAD a zpracujte technologický postup.

Metodou smáčecích vah proměřte smáčecí charakteristiky povrchových úprav imerzním cínováním a OSP (GLICOAT F2) po výrobě a po izotermálním stárnutí. Vyhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT:

Práca sa zaoberá skúmaním a porovnávaním vlastností rôznych typov povrchových úprav, ich kvalít a nedostatkov a perspektívnosti využitia v budúcnosti. Špeciálny dôraz sa kladie na nový produkt na poli OSP, Gliccoat F2 od spoločnosti SHIKOKU CHEMICALS CORPORATION a imerzný cín. Vyhodnocuje sa ich vplyv na pájateľnosť a jej zmeny po viacerých pretavovacích cykloch a izotermálnom starnutí.

ABSTRACT:

This work examines and compares properties of different types of surface finishes, their qualities and shortcomings and perspective for future use. Emphasis is placed on new product in the field of OSP, Gliccoat F2 from SHIKOKU CHEMICALS CORPORATION and immersion tin. It evaluates their influence on solderability and its changes after several reflow cycles and isothermal aging.

Klíúčové slová:

OSP, Gliccoat, ENIG, imerzný cín, pájateľnosť, povrchové úpravy

Keywords:

OSP, Gliccoat, ENIG, immersion tin, solderability, surface finishes

Bibliografická citácia diela:

BEDLEK, M. Povrchové úpravy mědi při výrobě DPS. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 43 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Jiří Starý, Ph.D..

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto vysokoškolskú kvalifikačnú prácu vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia § 152 trestného zákona č. 140/1961 Zb.

V Brne dňa 2. júna 2011

.....
podpis autora

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu semestrálneho projektu Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní projektu. Ďalej firme Gatema Boskovice za realizáciu povrchových úprav imerzný Sn a ENIG na dodaných vzorkách pre technologické skúšky.

V Brne dňa 2. júna 2011

.....
podpis autora

OBSAH

Úvod	7
1. Alternatívne metódy povrchových úprav	8
1.1 HASL	8
1.2 ENIG	9
1.3 OSP	11
1.3.1 Gliccoat F2	12
1.4 Imerzné striebro	14
1.5 Imerzný cín	15
1.6 ENEPIG	16
2. Zadanie experimentu	17
2.1 Imerzné pocínovanie	17
2.2 OSP Gliccoat F2	17
3. Metodika merania a dosiahnuté výsledky	18
3.1 Imerzné pocínovanie a určenie hrúbky	18
3.1.1 Teoretický úvod merania	18
3.1.2 Proces pokovovania	19
3.1.3 Namerané hodnoty a výpočty	20
3.2 OSP Gliccoat F2 a usporiadanie laboratórneho pracoviska	22
3.2.1 Postup aplikácie Gliccoat F2	22
3.2.2 Usporiadanie pracoviska	23
3.3 Meranie pájateľnosti Cu kontaktov metódou zmáčacích váh	25
3.3.1 Spracovanie nameraných hodnôt a ich vyhodnocovanie	26
3.3.2 Vplyv rôznych typov tepelnej záťaže na OSP	29
3.3.3 Porovnanie povrchových úprav OSP Gliccoat F2 s ENIG a imerzným Sn	34
4. Záver	40
5. Použitá literatúra	41
6. Zoznam použitých symbolov a skratiek	43

Zoznam obrázkov:

Obrázok 1 Prierez vrstiev u ENIG [6.]	9
Obrázok 2 Porovnanie aktívnych zložiek produktov série Gliccoat [11.]	13
Obrázok 3 Sn pod elektrónovým mikroskopom [13.]	15
Obrázok 4 Použité váhy	18
Obrázok 5 Graf závislosti hrúbky Sn vrstvy na dobe pokovovania	21
Obrázok 6 Prípravok na ofuk vzduchom	23
Obrázok 7 Sušička	23
Obrázok 8 Plánované rozloženie chemikálií v testovacom stanovisku Compacta od firmy Bungard	24
Obrázok 9 Compacta Bungard	24
Obrázok 10 Nádrže v Compacta Bungard	24
Obrázok 11 Metóda zmáčacích váh s riadiacou jednotkou	25
Obrázok 12 Použitá pretavovacia pec DIMA SMRO 0180	28
Obrázok 13 Sila F_{MAX} a čas $t_{2/3}$ [14.]	28
Obrázok 14 Priebehy zmáčacej sily s použitím tavidla	30
Obrázok 15 Priebehy zmáčacej sily bez použitia tavidla	30
Obrázok 16 Bez OSP, Bez I.S.	31
Obrázok 17 Bez OSP, Po I.S.	31
Obrázok 18 S OSP, Bez I.S.	32
Obrázok 19 S OSP, Po I.S.	32
Obrázok 20 S OSP, Po 3 Reflow Cykloch	33
Obrázok 21 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn bez I.S.	35
Obrázok 22 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn po I.S.	35
Obrázok 23 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn po 3 reflow cykloch .	36
Obrázok 24 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn po vystavení konštantnej vlhkosti	36
Obrázok 25 OSP po vystavení rôznym vplyvom	37
Obrázok 26 ENIG po vystavení rôznym vplyvom	37
Obrázok 27 Imerzný Sn po rôznych vplyvoch	38
Obrázok 28 Vplyv rôznych faktorov na koeficient K	39

Úvod

Vo všeobecnosti sú povrchové úpravy procesy, ktoré menia povrch výrobku s cieľom dosiahnuť lepšie vlastnosti. Pri výrobe DPS sa potykáme s veľkým množstvom problémov, ktoré sa snažíme eliminovať alebo aspoň zmierniť. Holá meď má síce relatívne dobrú pájateľnosť, ale ľahko dochádza k jej kontaminácii pri kontakte s vzduchom rýchlo oxiduje. Jednými z hlavných faktorov, ktorými sa budem v tejto práci zaoberať je zlepšenie pájateľnosti, zmáčavosti a zabezpečenie chemickej ochrany pre medené povrchy DPS pomocou organických inhibítorov oxidácie medi Glicoat F2 od japonskej firmy SHIKOKU CHEMICALS CORPORATION. Cieľom bude navrhnúť a zostaviť jednoduché pracovisko s nádržami obsahujúcimi potrebné chemikálie na otestovanie procesu ochrany medeného povrchu pomocou OSP.

Okrem metódy povrchovej úpravy pomocou OSP bude práca obsahovať prehľad a porovnanie ďalších používaných metód povrchovej úpravy medi, ako napríklad HASL, ENIG, ENEPIG, imerzný cín a imerzné striebro.

1. Alternatívne metódy povrchových úprav

Ako už bolo spomenuté v úvode, hlavnou podstatou povrchovej úpravy medeného povrchu je ochrana pred oxidáciou, ako aj zaistenie skladovateľnosti a dobre pájateľnosti povrchu. Pri výbere typu povrchovej úpravy musíme brať do úvahy požiadavky na následnú montáž, nakoľko zvolená povrchová úprava do veľkej miery ovplyvňuje kvalitu pájaného spoja

1.1 HASL

Využívajúc olovnatú pájku SnPb, vznik tejto metódy sa datuje až k počiatkom výroby DPS. Dlhé roky boli považovaná za najefektívnejšiu a najbežnejšiu povrchovú úpravu. Ak môžeme použiť olovnatú pájku, HASL je veľmi cenovo výhodný a spoľahlivý pri výrobe zložitých DPS.

Počas tohto procesu je DPS ponorená do roztavenej pájky a následne vytiahnutá, pričom prebytok pájky je odstránený použitím HAK, v snahe zanechať čo najtenšiu vrstvu pájky. Pájka následne chráni povrch pred koróziou, pričom pripájanie súčiastok je veľmi jednoduché, pretože na celej pájacej ploške už je pájka. Stálou nevýhodou tejto metódy je fakt, že celá DPS je teplotne namáhaná, v dôsledku náhleho tepelného šoku pri ponore do pájky. Druhou veľkou nevýhodou je nerovnomerná výška pájky na DPS.

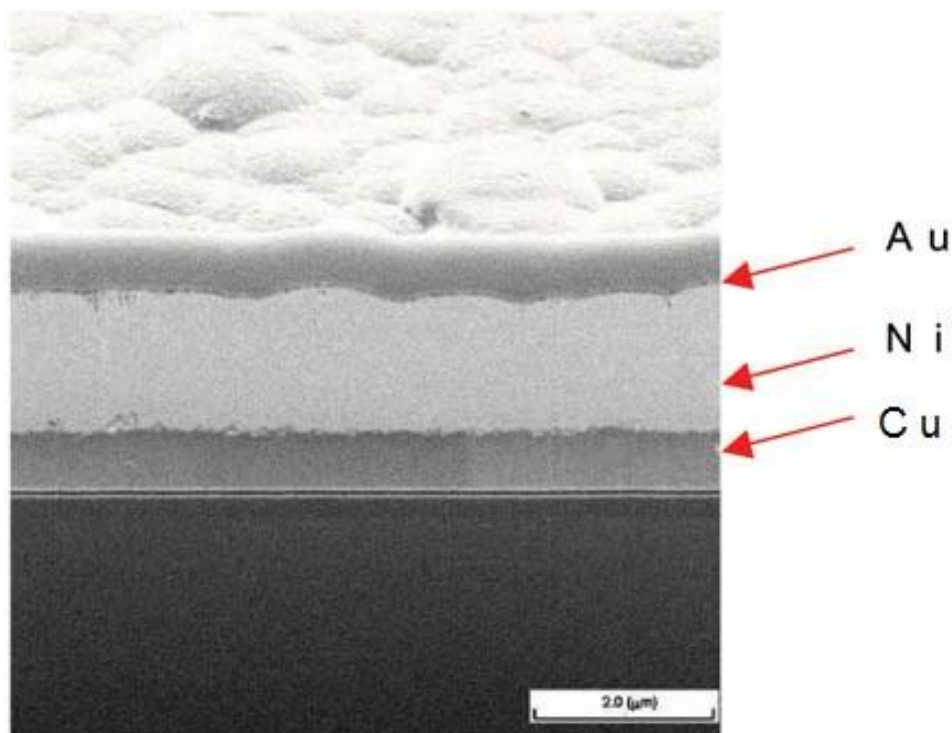
S postupným prechodom na fine pitch SMD a environmentálnymi reguláciami sa začali prejavovať nedostatky metódy. V roku 2003 EU prijala RoHS, ktorý nadobudol platnosť 1. júla 2006. Hlavným cieľom bolo zakázať používanie ťažkých kovov ako Pb, Hg a Cd v elektronike. Napriek neskoršiemu zavedeniu rôznych výnimiek pre ich používanie v odvetviach kde by boli ťažko nahraditeľné, snaha o zavedenie lead-free zlúčenín, v našom prípade pájok, mala nepriaznivý vplyv pre HASL jej atraktivnosť. Pb býva v lead-free pájkach nahradené inými kovmi (Ag, Ni, etc.), to ale vyžaduje prispôbenie zariadenia. Tieto nedostatky spôsobili, že HASL je už dnes považovaný za zastaraný a je na ústupe. [1.]

1.2 ENIG

Ide o metódu kde sa najprv bez prúdovo pokovuje Ni a následne imerzne Au. Pri tomto pokovovaní sa vymieňa vždy jeden atóm Ni za dva atómy Au. Historicky je táto metóda považovaná za najlepšiu fine pitch povrchovú úpravu. Po jej vykonaní na povrchu medi bude vrstva Ni o hrúbke asi 1,91 μm (75 μin) a na nej vrstva Au s hrúbkou cca 0,08-0,13 μm (3-5 μin), povrch má výbornú pájateľnosť a rovinnosť, je schopný zniesť aj viacero pretavení.

Kvalita tejto metódy, pramení z faktu, že Au, ktoré sa nachádza na povrchu, sa veľmi rýchlo rozpúšťa v pájke, výborne odoláva znečisteniu a oxidácii, možno sa ho dokonca dotýkať holými prstami. Je teda výbornou voľbou pre povrchovú úpravu. Nanešťastie ho ale nemôžeme nanášať priamo na Cu, pretože Cu by hneď difundovala cez Au na povrch, kde by zoxidovala a vytvorila nepájateľný povrch. Preto siahneme po Ni, ktorý slúži ako bariéra medzi Au a Cu. Keďže Cu sa ľahko pokovuje Ni a Ni sa už ľahko imerznou metódou pokoví Au. Samotný Ni by ako povrchová vrstva nestačil, nakoľko podobne ako Cu, rýchlo oxiduje.

Proces sa vyznačuje vysokou trvanlivosťou a je v súlade s RoHS . Tento proces má ale aj svoje negatíva. Je cenovo náročnejší ako napríklad HASL a ide o dvojfázový proces, najprv sa naniesie Ni a až potom Au. Môžu tu vzniknúť aj isté poruchy, medzi najprominentnejšie patrí tzv. Black Pad (čierna kontaktná plôška), pórovitá vrstva Au a krehnutie Au vrstvy.[3.]



Obrázok 1 Prierez vrstiev u ENIG [6.]

Pórovitá Au vrstva je zapríčinená tým, že atómy Au nevytvoria tesnú mriežku, čím umožnia Ni migrovať na povrch, kde zoxидуje a vytvorí nepájateľný povrch. Pri použití imerzného Au tento problém nastane zriedkavo.

Krehká Au vrstva vznikne keď sa dostatok Au rozpustí v pájke a vznikne krehká intermetalická fáza AuSn_4 , ktorá môže zapríčiniť zlyhanie spoja. Tento problém ale nastane ak množstvo Au v pájke prekročí 4 hmotnostné percentá, čo by nemalo nastať ak hrúbka Au vrstvy bude menej ako $0,06\text{ }\mu\text{m}$ ($2,5\text{ }\mu\text{in}$).

Black pad je porucha, ktorej mechanizmus vzniku oproti predchádzajúcim nie je úplne jasný, snaha o jej potlačanie momentálne smeruje k správnej chémii pokovovacieho roztoku. Jej dôsledkom je slabý pájaný spoj, ktorý už pri malej námahe praskne alebo sa úplne ulomí. Názov black pad, tj. čierna kontaktná plôška, vznikol kvôli typickej tmavo sivej až čiernej oblasti, ktorá ostane na Ni ploche po oddelení pájaného spoja. Prvý krát bola zistená u BGA puzdier, kde po demontovaní súčiastky bolo vidno spomínané čierne plôšky, ktoré výrazne zhoršili zmáčavosť pájky.

Analýze tejto poruchy ukazovala abnormálne vysokú koncentráciu fosforu v Ni. To malo za následok vznik teórie, že problémom je nadmerné usadzovanie fosforu pri poniklovaní. Novšie výskumy ale ukazujú, že tento prebytok fosforu je spôsobený oxidáciou Ni. Problémom teda je prítomnosť fosforu, ale predpokladá sa iný dôvod jeho prítomnosti v Ni. [2.]

1.3 OSP

Organické inhibitory oxidácie medi ako povrchová úprava sa začali do pozornosti dostávať už asi pred 40 rokmi. Americká spoločnosť IBM sa považuje za prvú, ktorá videla v tejto metóde možnosti pre praktickú aplikáciu.

Po aplikovaní OSP je na medi tenká priesvitná vrstva, s hrúbkou rádovo v desatinách nanometrov. Počas obdobia svojej existencie prešla táto technológia množstvom vylepšení. Prvé verzie mali trvanlivosť 3-6 mesiacov a boli schopné vydržať len 1-2 teplotné cykly. Dnešné verzie už majú trvanlivosť 12 mesiacov a zvládnu viacero teplotných cyklov. Bežne používané OSP možno rozdeliť na benziotriazolové a imidazolové.

Negatíva OSP

- tenká priesvitná bezfarebná vrstva OSP → obtiažne overenie či bol povrch ošetrený pomocou OSP
- OSP je vo svojej podstate izolant, nevedie teda dobre elektrický prúd, benzotriazolové OSP, nakoľko tvoria tenší film na povrchu Cu, nemusia nijak závažne ovplyvniť elektrické testy, oproti tomu bežné imidazolové OSP tvoria hrubšiu vrstvu a preto o zhoršujú elektrické vlastnosti povrchu
- potreba agresívnejšieho tavidla, ktoré odstráni vrstvu OSP pri pájaní, čo môže mať za následok defekty pri pájaní
- počas skladovania, OSP nesmie prísť do kontaktu s kyselinou, vysokou teplotou, inak sa začne rýchlo vyparovať

V dnešnej dobe prichádza množstvo firiem stále s novými modelmi svoji OSP produktov, ktoré majú stále lepšie parametre, hlavne v oblasti tepelnej odolnosti, trvanlivosti a compatibility aj s menej agresívnymi pájkami. V ďalšej kapitole bude podrobne popísaný produkt Gliccoat F2 od spoločnosti SHIKOKU CHEMICALS CORPORATION a výhody ktoré prináša.[7.]

1.3.1 Gliccoat F2

Všeobecné vlastnosti technológie OSP boli už spomenuté v predchádzajúcej kapitole. V tejto sa zameriam konkrétne na nový produkt od japonskej firmy SHIKOKU GLICOAT F2, ktorý so sebou prináša veľké množstvo výhod oproti starším verziám OSP.

V dnešnej dobe sa v SMT často vyžadujú komponenty, ktoré majú byť upevnené na medených kontaktných ploškach, zatiaľ čo iné prvky DPS majú byť pokovené zlatom, striebrom, cínom alebo pájkou. Podobné DPS s viacerými druhmi pokovení sú dnes stále bežnejšie a teda povrchové ošetrovanie takýchto obvodov nadobúda stále väčšiu dôležitosť. Požiadavkami na ošetrovací agent sú rozpustnosť vo vode a schopnosť ochrániť Cu pred oxidáciou, bez toho aby na iných kovoch zanechal povlak. Bolo teda treba vyvinúť OSP ktoré sa selektívne viaže na Cu bez vážneho ovplyvňovania iných kovov ako Au a pájka.

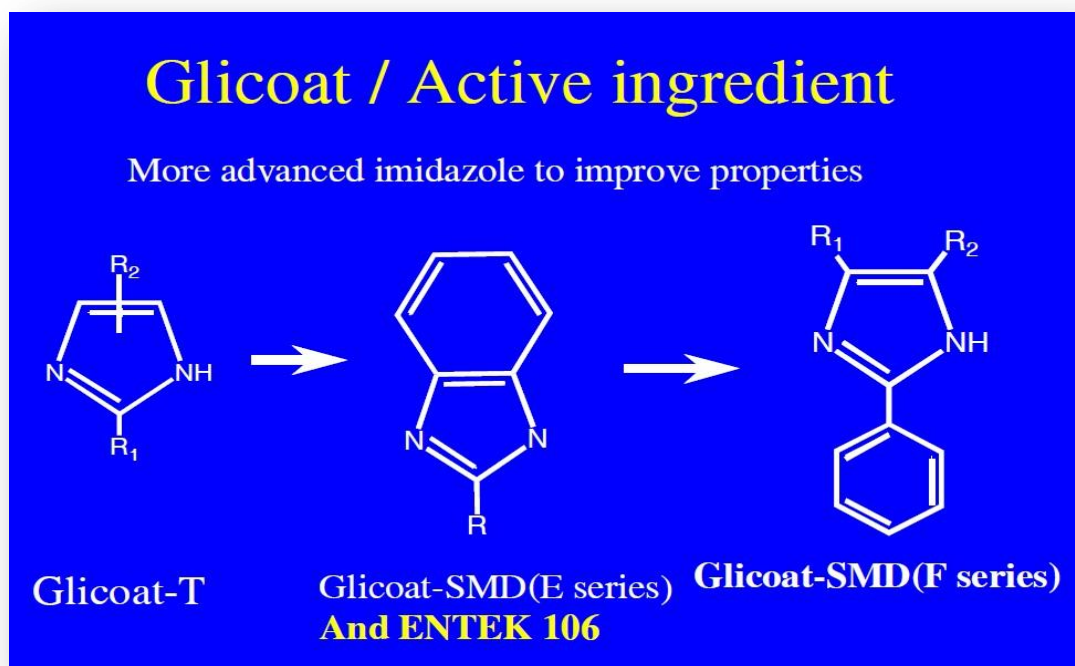
Konvenčné OSP procesy založené na dlhých reťazcoch alkyimidazolov a substitučné benzimidazolové zlúčeniny fungovali adekvátne na ochranu Cu. Ich nevýhodou ale bolo, že zanechávali hrubý film na materiáloch ako Sn, Au a pájka. Tento film prekážal pri ďalších operáciách ako wire bonding alebo osadzovanie QFP. Navyše prechodový odpor na Au vzrástol na neprijateľnú hodnotu. Tieto problémy sa museli riešiť maskovaním povrchov kde bol kontakt s OSP nežiaduci. Faktorom podporujúcim vznik tohto filmu bola častá prítomnosť iónov Cu. Tieto ióny vytvárali komplex s aktívnymi azolovými prísadami v OSP, podporujúc tak vznik filmu, čo zapríčiňovala zmenu farby pájky a nemožnosť dlhodobej pájateľnosti.

Cieľom teda bolo vytvoriť OSP, ktoré by sa selektívne viazalo na Cu, bez zanechávania iónových reziduií. OSP ďalej musí zaistiť dostatočnú pájateľnosť počas viacerých teplotných cyklov počas pájanie vlnou s pájacou pastou s málo agresívnymi tavidlami. [11.]

Prínosy Gliccoat F2

- aktívna zložka je veľmi dobre rozpustná vo vodných roztokoch → produkt môže byť koncentrovanejší
- tvorí súvislú a veľmi tenkú vrstvu na Cu povrchu, tenšia vrstva znamená, že stačí menej agresívne tavidlo v pájke aby ju rozpustilo
- neznečisťuje a netvorí film na iných kovoch
- vhodný pre lead-free pájky, zvláda vyššie teploty, dlhší čas pájania, menšiu zmáčavosť pájky, tieto vlastnosti pramenia z použitej aryl-fenyl-imidazolovej zlúčeniny

- ako rozpúšťadlo pre aktívnu zložku používa kyselinu octovú namiesto mravčej, kyselina octová má menšiu tendenciu sa vyparovať



Obrázok 2 Porovnanie aktívnych zložiek produktov série Glicoat [11.]

Molekula série F má na pozícii R₁ benzylovú skupinu a na R₂ nižšiu alkylovú skupinu.

1.4 Imerzné striebro

Vo svojej fyzikálno-chemickej podstate ide o veľmi jednoduchý proces, kde pri ponore DPS do správne namiešaného pokovovacieho roztoku nastáva výmena atómov Cu na povrchu DPS za atómy Ag obsiahnuté v roztoku. Narozdiel od imerzného Au a Sn, pri tejto metóde je jeden atóm Cu nahradený dvoma atómami Ag. Výhodou imerzných metód je že po určitom čase dôjde k ich automatickému ukončeniu, a síce keď už sa nemajú aké atómy z povrchu uvoľňovať. Ide o veľmi kvalitný proces, vhodný aj pre fine pitch aplikácie. Hrúbka vrstvy Ag na povrchu DPS je 0,13-0,31 μm (5-12 μin) s veľmi rovnomernou hrúbkou, pričom životnosť tejto vrstvy je vyše 12 mesiacov. Nevýhodou oproti ENIG je, že narozdiel od Au, Ag ľahko oxiduje a je znečistiteľné napríklad dotykom, preto nie je vhodné na výrobu polotovarových dosiek, ktoré budú neskôr ručne osadzované, ale výborne pred výrobou, kde budú dosky hneď po výrobe osadzované.

Prechod k lead-free výrobným procesom je jeden z dôvodov pre rastúcu popularitu tejto metódy medzi výrobcami DPS, pričom táto metóda sa stáva najlepšou voľbou spomedzi povrchových pre lead-free výrobné procesy. Bez problémov zvláda teploty potrebné pri lead-free procesoch, je kompatibilná s väčšinou iných výrobných procesov a cenovo výhodná. Zatiaľ má na trhu väčší podiel metóda ENIG, ale za posledný rok bol zo strany výrobcov DPS najväčší dopyt práve po technike na implementáciu tejto metódy, čo rozhodne hovorí o jej kvalitách.[6.]

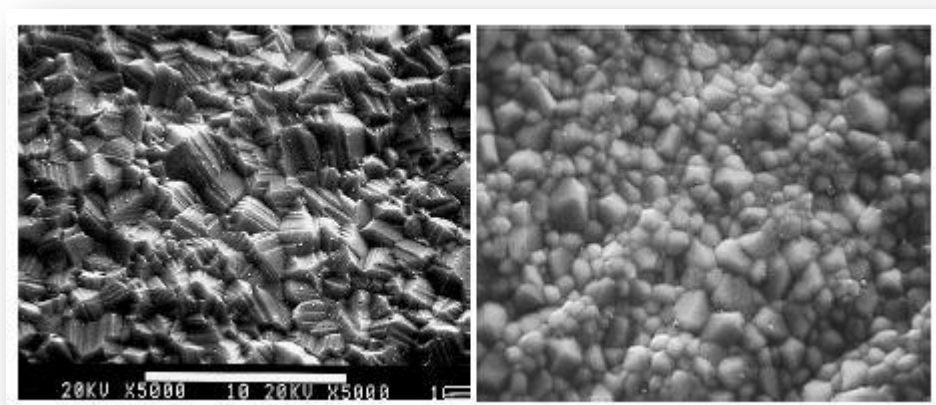
1.5 Imerzný cín

Princíp pokovovania je rovnaký ako u imerzného Ag, teda výmena atómov Cu, tento krát za Sn, ale za každé dva atómy Cu sa vymení jeden atóm Sn. Tento proces je z historického hľadiska veľmi populárny vďaka svojim dobrým vlastnostiam a cenovej výhodnosti. Poskytuje súvislú rovnú vrstvu Sn o hrúbke 0,5-1 μm (20-40 μin). Povrch je dobre pájateľný, ale oproti imerznému Ag ma obmedzenejšiu životnosť, len 3-6 mesiacov. Tento proces je stále bežne prítomný vo výrobe DPS po celom svete.

Hlavným negatívnym vplyvom je vznik intermetalických zlúčenín Cu_6Sn_5 a Cu_3Sn , ktorý je spôsobený difúziou Cu do vrstvy Sn a naopak. Okrem iného sa tieto intermetalické fázy vyznačujú zlou pájateľnosťou, krehkosťou a horšími tepelnými a elektrickými vlastnosťami. Ďalšia degradácia Sn povrchu vzniká v dôsledku oxidácie Sn, na ktorú je tiež náchylný.

Tin whisker, resp. cínový vláknový kryštál je fenomén, ktorý vzniká spontánnym rastom drobných vlákien na kovovom povrchu, v našom prípade Sn. Mechanizmus ich vzniku nie je zatiaľ presne jasný, ale medzi faktory podporujúce rast whiskerov je sú teplotné a mechanické namáhanie, namáhanie spôsobené difúziou kovou, vlhkosť a elektrický gradient. Medzi najväčšie obete patrí komunikačný satelit Galaxy IV, kde v dôsledku rastu whiskerov nastal skrat.

Na Obrázok 3 Sn pod elektrónovým mikroskopom je možno vidieť 2 rôzne cínové povrchy pod elektrónovým mikroskopom so zväčšením 5000-krát. Oba tieto povrchy vznikli imerzným pocínovaním. Naľavo je zobrazený tzv. konvenčný cín, ktorý je oveľa náchylnejší na rast whiskerov. Napravo je zobrazený tzv. „flat solderable tin“, resp. rovný pájateľný cín. U tohto vidíme veľké množstvo jednotlivých zŕn o veľkosti 1-3 μm . Takýto povrch je oveľa menej náchylný na rast whiskerov.[5.]



Obrázok 3 Sn pod elektrónovým mikroskopom [13.]

1.6 ENEPIG

Tento proces je považovaný za tzv. univerzálnu povrchovú úpravu a z kvalitatívneho hľadiska považovaný za najlepšiu povrchovú úpravu pre lead-free výrobu a wire bonding aplikácie. Ide vlastne o ENIG vylepšený tým, že medzi vrstvou Au a Ni je navyše vrstva Pd. Vrstva Ni je rovnako hrubá ako u ENIG, Pd má hrúbku 0,1-0,5 μm (4-20 μin) a Au 0,03-0,1 μm (1-4 μin). Paládium pomáha zabrániť korózii a vzniku šumového napätia. Nevýhodou tejto metódy oproti ENIG a imerznému striebriu je cena, Pd je drahý prvok, ktorého len a svete nedostatok.[2.]

Vlastnosti	HASL	OSP	Imerz. Ag	Imerzný Sn	ENIG(ENEPIG)
Viacnás. teplotný cyklus	áno	probl.	áno	áno	áno
Rovinnosť povrchu	nie	áno	áno	áno	áno
Hrúbka vrstvy [μm]	1-20	0.5	0.16	1.2	5
Fine pitch aplikácie	probl.	áno	áno	áno	áno
Kontaktovanie	nie	nie	áno	nie	áno
Teplotný stres	áno	nie	nie	nie	nie
Údržba vane	obtiazna	ľahká	ľahká	ľahká	str. obtiazna
Riadenie procesu PÚ	str. obtiazna	ľahká	ľahká	ľahká	obtiazna
Náklady	stredné	nízke	stredné	nízke	vysoké
Ekologické aspekty	zlé	dobré	dobré	dobré	dobré
Bezolovnatá pájka SAC	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Tabuľka 1 Porovnanie rôznych typov povrchových úprav[12.]

2. Zadanie experimentu

2.1 Imerzné pocínovanie

Základné vlastnosti metódy boli už prebrané v predchádzajúcej kapitole. Len pre zopakovanie, podstatou metódy je výmena atómov Sn v pokovovacom roztoku za atómy Cu na povrchu DPS, ponorenej do daného roztoku, v pomere jeden atóm Sn za 2 atómy Cu. Toto je jeden z najdôležitejších faktov, ktorý pri tomto pokuse treba brať do úvahy.

Výrobca nami použitej zmesi na pocínovanie deklaruje, že po 15 minútach pokovovania získame vrstvu Sn o hrúbke 2,54 μm , tj. 100 μin . Pokúsil som sa teda experimentálne overiť toto tvrdenie. Nakoľko ide o veľmi malú hrúbku, konvenčné metódy dostupné v laboratóriu, ako napríklad mikrometrické meradlo, ktoré meria len s presnosťou na stotiny milimetra by boli nedostačujúce. Z teoretických znalostí o procese a jednotlivých prvkoch v ňom prítomných môžeme aspoň rádovo odhadnúť hrúbku vrstvy.

2.2 OSP Gliccoat F2

Jadrom tejto práce by malo byť otestovanie vlastností novej generácie OSP, konkrétne spomínaného produktu Gliccoat F2. Výrobca deklaruje veľké množstvo výhod oproti starším generáciám. Ja sa budem zaoberať skúmaním pájateľnosti medených kontaktov ošetrených pomocou produktu Gliccoat F2, resp. porovnaním pájateľnosti kontaktov ošetrených rôznymi typmi povrchových úprav, chemikálií a teplotných vplyvov. Konkrétne ide o skúmanie pájateľnosti kontaktov po dodaní a po úprave OSP, resp. kontaktov vystavených izotermálnemu starnutiu 125 °C po dobu 60 min. alebo 3 reflow s cyklom s určitým reflow profilom, prípadne s a bez použitia tavidla, v záujme demonštrovať vplyv tavidla na zmáčavosť.

Prácu som rozšíril o porovnanie kvality OSP s povrchovými úpravami ENIG a imerzný Sn.

3. Metodika merania a dosiahnuté výsledky

3.1 Imerzné pocínovanie a určenie hrúbky

V tejto kapitole som sa zameriaval na metódu imerzného pocínovania, resp. overenie rýchlosti pokovovania konkrétného pokovovacieho roztoku.

Na začiatku som si nastrehol malé štvorčeky 3x3 cm základného materiálu FR4 s vrstvou Cu o hrúbke 35 μm . Následne som všetky odvážil na váhach schopných merať s presnosťou na desatiny miligramu. Napriek tomu, že rovnako ako spomenuté mikrometrické meradlo, ide vlastne o mechanický prístroj, resp. meradlo, jeho presnosť je oveľa lepšia a dostačujúca aj pre toto meranie. Vzorky boli pripravené a mohol som prejsť na ich pokovovanie.



Obrázok 4 Použité váhy

3.1.1 Teoretický úvod merania

Akú zmenu vlastne môžeme očakávať, čo sa týka hmotnosti DPS po pokovení? Ak vieme výmenný pomer atómov, stačí nám vedieť už len hmotnosti jednotlivých atómov.

Existuje mnoho spôsobov ako by sme mohli zistiť hmotnosti atómov prvku, zo známych chemicko-fyzikálnych parametrov. Ja som zvolil ten, ktorý mi prišiel najlogickejší a najjednoduchší na výpočet. Z ľubovoľných chemických tabuliek sa dá ľahko zistiť relatívna atómová hmotnosť Sn a Cu, ktorá hovorí koľko váži jeden mol daného prvku.

Na zistenie hmotnosti jedného atómu potrebujeme vedieť už len koľko atómov obsahuje jeden mol. Túto informáciu nám dá Avogadrova konštanta, ktorej hodnota podáva presne tento údaj. Ak teda podelíme relatívnu atómovú hmotnosť A_r konštantou N_A , dostaneme hmotnosť atómu m v gramoch.

$$m = \frac{A_r}{N_A}$$

	Atómová hmotnosť [g.mol ⁻¹]	Hmotnosť atómu [10 ⁻²² .g]
Meď	63.546	1.0552
Cín	118.71	1.9712

Tabuľka 2 Hmotnosti atómov Sn a Cu

Z týchto hodnôt vidíme, že 2 atómy Cu budú reprezentovať asi $2,1104 \cdot 10^{-22}$ g, čo je viac ako hmotnosť atómu Sn $1,9712 \cdot 10^{-22}$ g. Môžeme teda už vopred predpokladať, že po pocínovaní bude DPS o niečo ľahšia.

3.1.2 Proces pokovovania

Najprv bolo potrebné namiešať pokovovací roztok. Výrobcom udávané hodnoty boli 2812 g prášku na 18 dm³ vody. Ja som použil 0,5 dm³ vody, jednoduchou trojčlenkou som prerátal potrebné množstvo prášku, a síce 78,4 g. Meranie prebehlo v dvoch etapách, v každej boli použité 3 vzorky ktoré boli postupne vyťahované z pokovovacieho roztoku po 5, 10 a 15 minútach. V prvej fázi boli vzorky najprv pod prúdom vody oškriabané, aby sa odstránila zoxidovaná vrstva na povrchu, ktorá by bránila pokovovaniu. Následne boli ešte ponorené na 1-2 sekundy do separátne namiešanej kadičky, v ktorej bolo klasiky používané leptadlo, zriedené v pomere 1:9 s vodou. V druhej fázy bolo leptanie vynechané, pre jeho prílišný negatívny vplyv na meranie. Po vytiahnutí vzoriek z pokovovacieho roztoku ihneď išli do pece vyhriatej na 60 °C na 60 minút a následne odvážené.

3.1.3 Namerané hodnoty a výpočty

Namerané hodnoty z oboch častí pokusu sú v nasledujúcich tabuľkách, kde najpodstatnejší je stĺpec rozdiel hmotnosti pred a po pokovovaní. Práve na ňom sú založené ďalšie výpočty.

doba v pokov. roztoku [min.]	hmotnosť pred pokov. [g]	hmotnosť po pokov. [g]	rozdiel hmotností [g]
5	2.7648	2.7633	-0.0015
10	2.8243	2.8227	-0.0016
15	2.9158	2.9141	-0.0017

Tabuľka 3 Prvá fáza merania(s leptaním)

doba v pokov. roztoku [min.]	hmotnosť pred pokov. [g]	hmotnosť po pokov. [g]	rozdiel hmotností [g]
5	2.8134	2.8124	-0.0010
10	2.7933	2.7922	-0.0011
15	2.81165	2.81045	-0.0012

Tabuľka 4 Druhá fáza merania(bez leptania)

Záporné hodnoty pre rozdiel hmotností pred a po pokovení znamenajú, že po pokovení bola vzorka ľahšia. Porovnaním rozdielov hmotností v oboch tabuľkách vidíme vplyv leptania na experiment. Leptanie znížilo hmotnosť každej vzorky o 0,0005 g, čo je v našom prípade veľmi veľa. Nemá zmysel sa teda snažiť počítať hrúbku Sn vrstvy z údajov z prvej fázy merania. Prvá fáza nám ale poskytla poznatok, že odleptaných bolo cca 6,2 μm Cu.

Z druhej fázy už ale môžeme určiť približnú hrúbku Sn vrstvy. Najprv si určíme hmotnostný úbytok DPS, ktorý nastane pri výmene 2 atómov Cu za 1 atóm Sn.

$$\Delta m_{\text{atómov}} = 2m_{\text{Cu}} - m_{\text{Sn}} = (2 * 1,0552 - 1,9712) * 10^{-22} \text{ g} = 0,1392 * 10^{-22} \text{ g}$$

Keď podelíme rozdiel hmotnosti pred a po pokovení týmto hmotnostným úbytkom, zistíme koľko atómov Sn sa usadilo na DPS. Budem používať hodnoty pre poslednu vzorku, ponorenú 15 min.

$$N = \frac{\Delta m}{\Delta m_{\text{atómov}}} = \frac{1,2 * 10^{-3}}{0,1392 * 10^{-22}} \cong 8,6207 * 10^{19} \text{ atómov}$$

Vynásobením s hmotnosťou jedného atómu Sn dostaneme hmotnosť cele vrstvy Sn.

$$m_{\text{vrstvy}} = N * m_{\text{Sn}} \cong 0,01699 \text{ g}$$

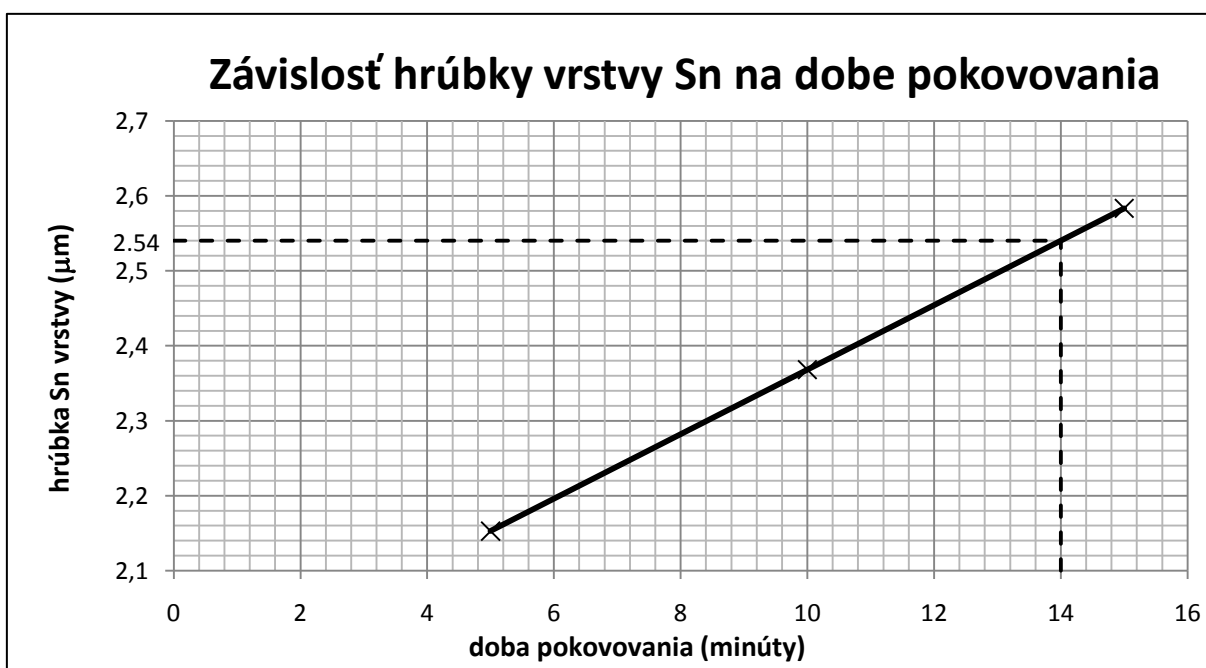
Zo znalosti hustoty Sn a hmotnosti vrstvy vieme zistiť jej objem.

$$V_{\text{vrstvy}} = \frac{m_{\text{vrstvy}}}{\rho_{\text{Sn}}} = \left(\frac{0,01699}{7,31} \right) \text{ cm}^3 = 2,32421 * 10^{-3} \text{ cm}^3$$

Nakoniec už len delením plochou vzorky získame jej hrúbku.

$$h_{vrstvy} = \frac{V_{vrstvy}}{S_{vrstvy}} = \left(\frac{2,32421 \cdot 10^{-3}}{9} \right) cm = 2,1523 \cdot 10^{-4} cm = 2,1523 \mu m$$

Hrúbka vrstvy Sn teda vyšla cca 2,58 μm (výrobca udáva 2,54 μm), čo je veľmi dobrý výsledok, prihliadnuc na množstvo faktorov ktoré negatívne vplývali na toto meranie. Jedným z nich bolo, že som počítal s údajmi z fáze 2, kde nebol povrch dostatočne očistený od oxidov, čo mohlo ovplyvniť imerzný proces. Často som aj zaokrúhľoval čísla, síce stále s veľkou presnosťou na 5 desatinných miest, ale isté chyby mohli byť spôsobené. Namerané výsledky sú teda približne rovnaké ako výrobcom deklarovaná hodnota.



Obrázok 5 Graf závislosti hrúbky Sn vrstvy na dobe pokovovania

Na Obrázok 5 je vyznačená závislosť hrúbky pokovovanej Sn vrstvy na dobe pokovovania. Ako vidíme priebeh je približne lineárny. Z grafu je zjavne, že výrobcom udávaná hrúbka Sn vrstvy 2,54 μm bola na DPS už po 14 minútach pokovovania.

3.2 OSP Gliccoat F2 a usporiadanie laboratórneho pracoviska

Táto kapitola sa zaoberá novým produktom na poli povrchových úprav DPS, a síce OSP Gliccoat F2. Budú skúmané jej vlastnosti, resp. vplyv na pájateľnosť Cu kontaktov.

3.2.1 Postup aplikácie Gliccoat F2

Postup ošetrovania Cu kontaktov pomocou Gliccoat F2 udáva výrobca. V zátvorkách sú udávané doby po ktoré som nechával kontakty v jednotlivých bankách.

1. Čistenie kyselinou(ACID CLEAN)

Odstránenie nečistôt a oxidov. **(60-120s)**

2. Oplach vodou

Dvojetapová kaskáda

3. Mikrolept(MICROETCH)

Odleptanie 1,5-2,5 μm (60-100 μin) **(60s)**

4. Oplach vodou

Dvojetapová kaskáda

5. Studeno vzdušný nôž

Odstránenie zvyšku vody a leptadla *

6. Gliccoat F2(OSP)

Teplota roztoku 40 °C; ponoriť na 60 – 90 sekúnd; pH 3,8 -4 **(70s)**

7. Studeno vzdušný nôž

Odstránenie prebytku Gliccoat F2 **

8. Oplach deionizovanou vodou(DI voda)

Zabránenie vzniku vodných škvŕn

9. Sušička(horko vzdušný nôž)

90 °C, 20 – 60 sekúnd **(30s)**

* Do nádrže s OSP sa nesmie dostať voda alebo kyselina, preto treba DPS obzvlášť dobre vysušiť. Vmiešanie vody do OSP bude znižovať jeho koncentráciu a následne hrúbku filmu OSP, vmiešanie kyseliny do OSP zníži jej pH a čo tak isto spôsobí zoslabenie vrstvy OSP.

** Na povrchu DPS bude viac OSP ako je potreba, preto sa oplatí použiť studeno vzdušný nôž. Odfúknutie prebytku OSP naspäť do nádrže výrazne zníži spotrebu OSP.

3.2.2 Usporiadanie pracoviska

Ako ACID CLEANER bol použitý LC16 Copper Etch Cleaner, ktorý spolu so samotným OSP bol dodaný firmou ČEMEBO. V dodanom stave sa ešte ACID CLEANER riedil v pomere 1:10 s DI vodou. Oplach prebiehal klasickou vodou z vodovodu. Na mikrolept bol použitý roztok H_2SO_4 riedený deionizovanou vodou v pomere 50g H_2SO_4 na 1l DI H_2O . V druhej časti merania, kde boli porovnávané povrchové úpravy OSP, ENIG a imerzný Sn, bol použitý iný mikrolept. Išlo o 5% roztok, získaný zriedením plnohodnotného leptacieho roztoku, ktorý pozostáva z 13l DI vody; 2l H_2SO_4 ; 1,6l FT2 katalyzátoru; 2,9l H_2O_2 a 1040 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Tento roztok bol zriedený DI vodou.

Na ofuk vzduchom bolo potrebné skonštruovať prípravok. Do laboratória je zavedený stlačený vzduch, na ktorý som sa napojil a hadicou viedol cez mechanický ventil do plastovej nádoby(20l objem) kde bola po vnútornom obvode vedená do špirály. Hadica vo vnútri nádoby bola v oblastiach protiľahlých stien navŕtaná vrtákom s priemerom 1 mm a odstupom dier cca 5 mm a na konci zaslepená. Celá sústava vie pracovať do tlaku 1MPa, ja som ju operoval pri tlaku 8 atm(cca 0,81MPa). Napriek tomu, že ja som ňou ofukoval kontakty, jej funkčnosť bola otestovaná aj na DPS, keď bol za potreby ofuk DPS počas procesu leptania. Na koniec boli kontakty vložené do sušičky.

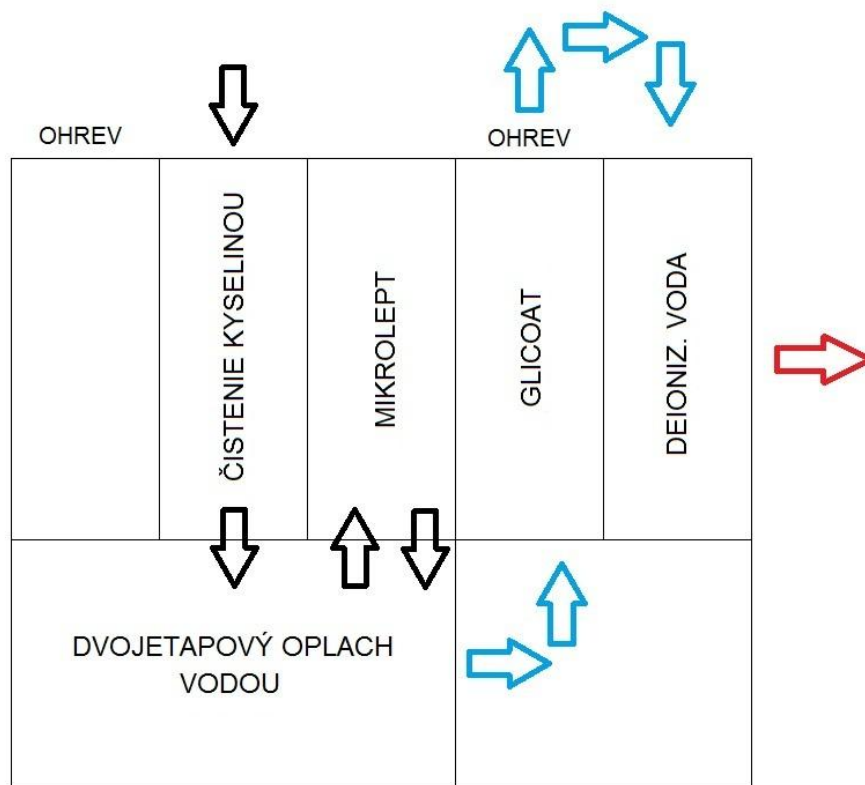


Obrázok 6 Prípravok na ofuk vzduchom



Obrázok 7 Sušička

Pôvodným plánom bolo testovať pájateľnosť Cu DPS na testovacom stanovisku prítomnom v laboratóriu. Pracovisko je plne pripravené s označeným nádržami, plánom rozloženia chemikálií a mnou skonštruovaným ofukom stlačeným vzduchom. Nakoniec sme sa ale rozhodli, že bude jednoduchšie a s rovnakou výpovednou hodnotou, testovať pájateľnosť kontaktov. Proces naniesenia OSP na kontakty teda neprebíhal v pôvodne mienenom pracovisku ale v malých kadičkách(100 a 200ml)



Obrázok 8 Plánované rozloženie chemikálií v testovacom stanovisku Compacta od firmy Bungard

Na Obrázku 8 je znázornené rozloženie jednotlivých chemikálií v použitom testovacom stanovišti. Ide o systém nádrží, z nich 2 sú vyhrievané. Šípky jednoducho naznačujú cestu, ktorú prejde DPS celým procesom z nádrže do nádrže. Pokúsil som sa ich umiestniť čo najefektívnejšie a najprehľadnejšie. Modré šípky značia že DPS prechádza studeno vzdušným nožom, červená šípka označuje horko vzdušný nôž.



Obrázok 9 Compacta Bundgard



Obrázok 10 Nádrže v Compacta Bungard

3.3 Meranie pájateľnosti Cu kontaktov metódou zmáčacích váh

Pôvodným plánom bolo testovať pájateľnosť Cu na DPS. Ukázalo sa ale praktickejšie testovať pájateľnosť Cu kontaktov.

Testované kontakty som získal nastrihaním bežného hladkého Cu drôtu o čistote 99,5 a priemere 1 mm na kusy dĺžky 2 cm. Tieto kusy som následne zabrusil na brusnom papieri do presnejšieho valcového tvaru, aby nedošlo k ovplyvneniu merania metódou zmáčacích váh v dôsledku rozdielnych tvarov kontaktov.

Kontakty pred samotným meraním prešli rôznymi typmi ošetrov a úprav. Testovaná bola zmáčavosť bez akejkoľvek úpravy kontaktov a s OSP Gliccoat F2, každé bez aj s tavidlom.

Meranie teda prebiehalo metódou zmáčacích váh prítomnom v laboratóriu FEKT. Celé meracie ústrojenstvo sa skladalo so samotného merača metódou zmáčacích váh s držiakom na kontakty a zdvižnou nádržkou s SAC 305 pájkou, vyhrievanou na 240 °C. Na riadiacej jednotke sme mohli nastaviť teplotu pájky, hĺbku ponoru kontaktu, rýchlosť ponoru a dobu ponoru. Mnou použité hodnoty bolo 240 °C, 3 mm, 10 mm/s a 10 s. Prístroj po celý čas vyhodnocoval aká sila pôsobí na kontakt ponorený do pájky, pričom táto sila sa pohybovala rádovo v mN. Prístroj bol schopný komunikácie s PC, čo umožnilo v reálnom čase vynášať priebeh sily do grafu a ukladať namerané hodnoty.



Obrázok 11 Metóda zmáčacích váh s riadiacou jednotkou

Pri meraní bolo veľmi dôležité dodržiavať rovnakú dĺžkou kontaktu prečnievajúcu z úchytu kontaktu. Inak by merná tepelná kapacita úchytu spôsobila rozdielne výsledky. Taktiež bolo treba sledovať priebeh ponoru, prístroj niekedy zle vyhodnotil proces ponoru a namiesto nastavených 3mm ponoril celý kontakt.

3.3.1 Spracovanie nameraných hodnôt a ich vyhodnocovanie

Ako už bolo spomenuté, celé meranie prebehlo metódou zmáčacích váh pre rôzne typy vzoriek. Vždy išlo o 2 cm dlhé medené kontakty; neošetrené, ošetrené OSP alebo tavidlom; vystavené izotermálnemu starnutiu, trom reflow cyklom alebo bez tepelných vplyvov.

Namerané hodnoty, resp. grafy boli závislosti sily pôsobiacej na kontakt ponorený do pájky. Aby sme správne vyhodnotili výsledky musíme vedieť aké sily a akým smerom pôsobia na ponorený kontakt. Na ponorený kontakt pôsobia 2 sily, vztlaková sila a zmáčacia sila.

Vztlaková sila pôsobí na základe Archimedovho zákona, resp. teleso ponorené do kvapaliny(pájky) je nadľahčené silou rovnej tiaži kvapaliny telesom vytlačenej. Jej smer je kolmo nahor, snaží sa kontakt vytlačiť

$$F_{vz.} = \rho_k V_t g$$

kde ρ_k je hustota kvapaliny (hustota SAC pájky pri 240 °C je 7020 kgm⁻³)

V_t je objem telesa ponorený do kvapaliny (objem kontaktu $d = 1mm, h = 3mm, V_t = \frac{\pi d^2 h}{4}$)

g je tiažové zrýchlenie (9,81 ms⁻²)

Zmäčacia sila pôsobí opačným smerom(v našom prípade) a dá sa tak isto vypočítať, podľa vzorca

$$F_{zmáč.} = c \gamma \cos(\theta)$$

Kde c je obvod vzorku ponoreného do roztavenej pájky

γ je povrchové napätie roztavenej pájky

θ je zmáčací(kontaktný) uhol

Túto silu by bolo ale problematické vypočítať, nakoľko zmáčací uhol by sa veľmi obtiažne meral. Preto využívam metódu zmáčacích váh na jej priame zmeranie. Metóda zmáčacích váh teda ale meria výslednú silu pôsobiacu na kontakt, ale nás zaujíma

len zmáčacia. Musíme teda previesť korekciu, a síce pripočítať k nameranej sile ešte vypočítanú vztlakovú silu.

$$\overrightarrow{F_{celk.}} = \overrightarrow{F_{vz.}} + \overrightarrow{F_{zmáč.}}$$

Nakoľko sily $\overrightarrow{F_{vz.}}$ a $\overrightarrow{F_{zmáč.}}$ pôsobia navzájom opačnými smermi, a za kladný smer zvolíme smer $\overrightarrow{F_{zmáč.}}$, dostaneme skalárnu rovnicu

$$F_{celk.} = F_{zmáč.} - F_{vz.}$$

a teda pre zmáčaciu silu platí

$$F_{zmáč.} = F_{celk.} + F_{vz.}$$

V grafoch $F_{celk.} = f(t)$ sa to prejaví pomyselným poklesom osi x o hodnotu $F_{vz.}$ nadol, pričom táto os sa nazýva **korigovaná nula** a ide vlastne o referenčnú hodnotu pre $F_{zmáč.}$

Pre môj prípad kde budú ponorené $h = 3 \text{ mm}$ a priemer drôtu je $d = 1 \text{ mm}$ a hustotu SAC pájky $\rho_k = 7020 \text{ kgm}^{-3}$ je vztlaková sila

$$F_{vz.} = \rho_k V_t g = \frac{\rho_k h \pi d^2 g}{4} = \left[\frac{7020 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot (10^{-3})^2 \cdot 9,81}{4} \right] N = 0,1623 \text{ mN}$$

Celkovo som vykonal **5 meraní**. Prvé 2 merania boli uskutočnené na zakúpenom Cu vodiči o už spomínaných rozmeroch bez povrchovej úpravy. Toto meranie nám dalo istú kvalitatívnu referenciu pre nijak neošetrený vodič. Vodič bol v jednom prípade vystavený izotermálnemu starnutiu pri 125 °C po dobu 60 min, v druhom nie. Tak isto boli vykonané merania bez a s použitím tavidla, opäť v záujme demonštrovať prínos tavidla. Ako tavidlo bola použitá zmes **práškovej kalafuny** a **izopropyl alkoholu** v hmotnostnom pomere 1:3.

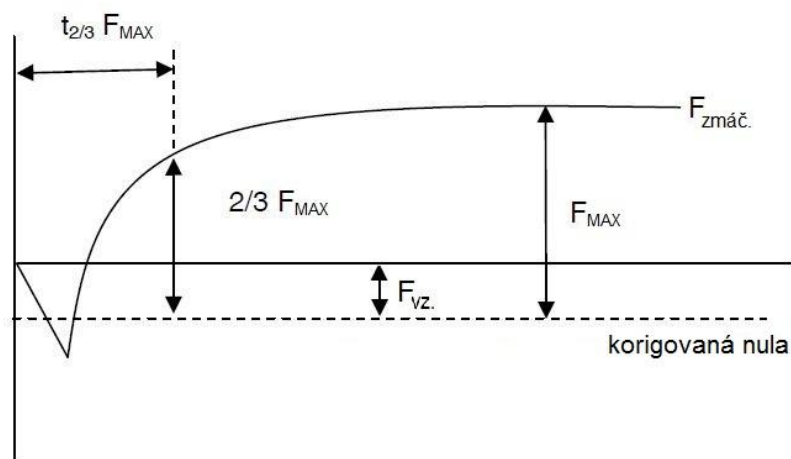
Ďalšie 3 merania boli už vykonané na kontaktoch ošetrovaných OSP Gliccoat F2. Uplatnená bola podobná metodika ako pred tým, a síce meranie pájateľnosti bez prechádzajúcich tepelných vplyvov na kontakty, po izotermálnemu starnutiu pri 125 °C po dobu 60 min a navyše po 3 reflow cykloch v pretavovacej peci v laboratóriu FEKT, pri nastaveniach 280 °C, 300 °C, 380 °C a rýchlosť dopravníku 10. Takisto aj s, aj bez použitia tavidla.



Obrázok 12 Použitá pretavovacia pec DIMA SMRO 0180

Pre každý prípad, s tavidlom aj bez som použil vždy 10 testovacích vzorkou. Následne som každých 10 nameraných priebehov spriemeroval a ich výsledkom sú ďalej uvedené priebehy.

Hodnotiť ale kvality OSP a použitého tavidla len voľným okom porovnávaním grafov by nebolo príliš vhodné. Jednotlivé priebehy budem teda kvantitatívne porovnávať pomocou parametrov F_{MAX} . a $t_{2/3}$.



Obrázok 13 Sila F_{MAX} . a čas $t_{2/3}$ [14.]

F_{MAX} . – maximálna hodnota zmáčacej sily braná voči korigovanej nule

$t_{2/3}$ – čas, počítaný od ponorenia vzorku do pájky, za ktorý zmáčacia sila nadobudne hodnotu $\frac{2}{3} F_{MAX}$.

3.3.2 Vplyv rôznych typov tepelnej zátáže na OSP

V tejto kapitole už prejdeme ku konkrétnym nameraným hodnotám. Každé z piatich meraní je reprezentované parametrami F_{MAX} a $t_{2/3}$ a svojim grafom obsahujúcim 3 krivky, korigovaná nula, ktorá je vždy konštantná a priebehy zmáčacej sily pri a bez použitia tavidla.

F _{MAX.} (mN)									
I.S.								Reflow	
áno				nie				áno	
OSP								OSP	
áno		nie		áno		nie		áno	
Tavidlo								Tavidlo	
áno	nie	áno	nie	áno	nie	áno	nie	áno	nie
0,97	-0,46	-1,06	-0,99	1,07	0,16	0,43	-0,72	0,75	-0,82

Tabuľka 5 Namerané hodnoty F_{MAX} pre OSP

t _{2/3} (ms)									
I.S.								Reflow	
áno				nie				áno	
OSP								OSP	
áno		nie		áno		nie		áno	
Tavidlo								Tavidlo	
áno	nie	áno	nie	áno	nie	áno	nie	áno	nie
2600	-----	-----	-----	1250	1870	4300	-----	8120	-----

Tabuľka 6 Namerané hodnoty $t_{2/3}$ pre OSP

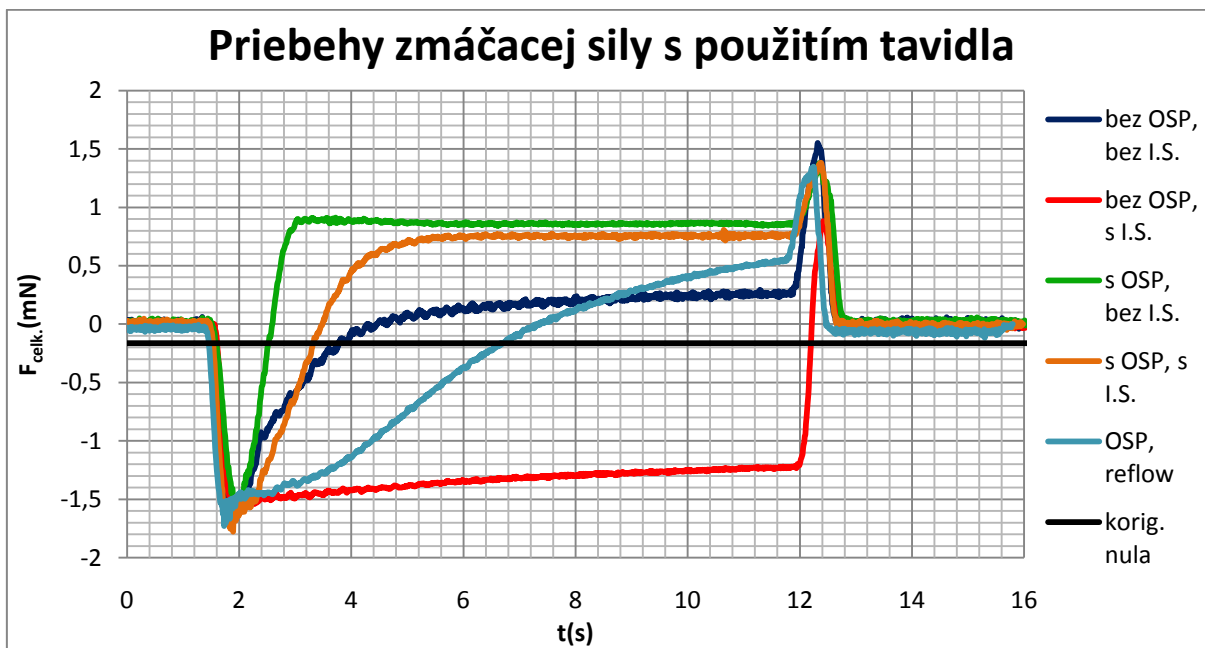
V tabuľkách 5 a 6 sú uvedené namerané hodnoty F_{MAX} a $t_{2/3}$. Prvú vec ktorú je nutné spomenúť sú prázdne políčka v tabuľke 6. Nakoľko $t_{2/3}$ je čas kedy zmáčacia sila narastie na $2/3 F_{MAX}$ pri zápornej F_{MAX} vzniká problém s určením $t_{2/3}$. F_{MAX} sa uvažuje voči korigovanej nule a teda keď ju zmáčacia sila neprekročí, nemáme žiadnu referenčnú hodnotu voči ktorej určiť $2/3 F_{MAX}$.

Zvýraznené hodnoty sú najlepšie hodnoty aké počas merania nastali. Ako sa dalo čakať, nastali pri ošetrovaní povrchu OSP bez tepelnej degenerácie a za použitia tavidla. Možno ale vyvodiť väčšie množstvo záverov.

Po prvé možno jasne vidieť obrovský prínos tavidla. V prípade použitia OSP a 3 reflow cyklov, rozdiel v F_{MAX} je 1,57 mN spôsobený len tavidlom, čo je obrovská hodnota. Inak tomu nie je ani v iných prípadoch.

Čo sa týka vlastností OSP, vidíme že po izotermálnom starnutí je len nepatrný pokles v hodnotách F_{MAX} a $t_{2/3}$. Aj po troch reflow cykloch za použitia tavidla je stále vidieť lepšie vlastnosti ako u drôtu po dodaní.

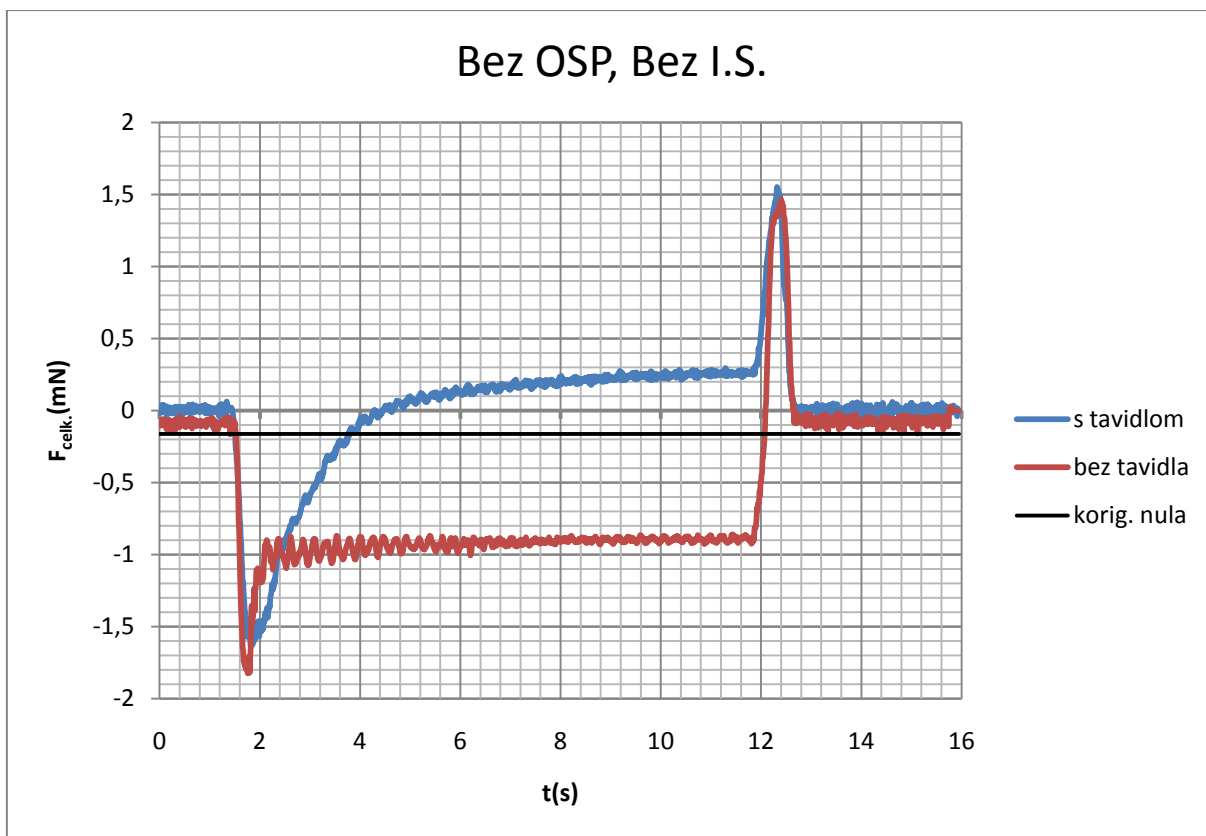
Namerané hodnoty som spracoval aj graficky. Na obrázkoch 6 a 7 sú zobrazené priebehy všetkých piatich meraní spolu, pre ľahké porovnanie priebehov, najprv s a bez použitia tavidla. Na obrázkoch 8 až 12 sú priebehy pre každé z piatich meraní zvlášť, kde možno lepšie pozorovať účinky tavidla.



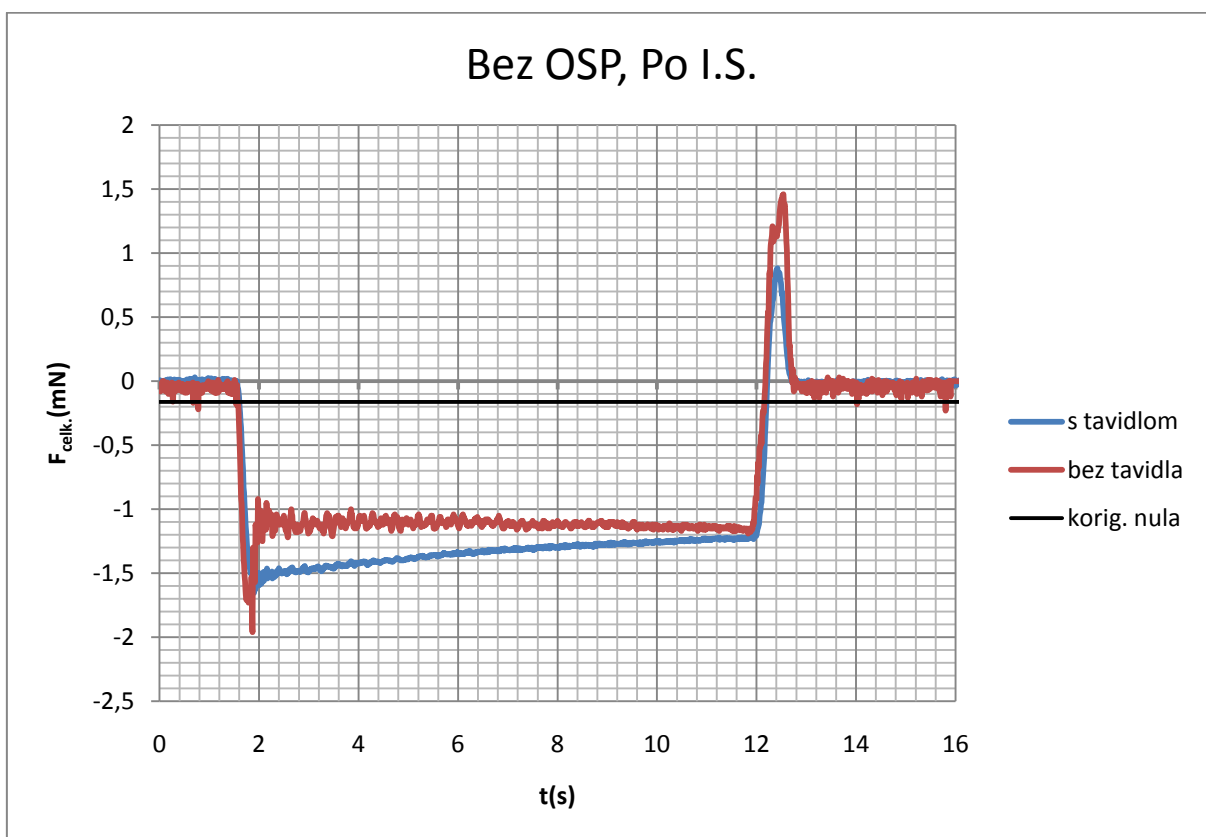
Obrázok 14 Priebehy zmáčacej sily s použitím tavidla



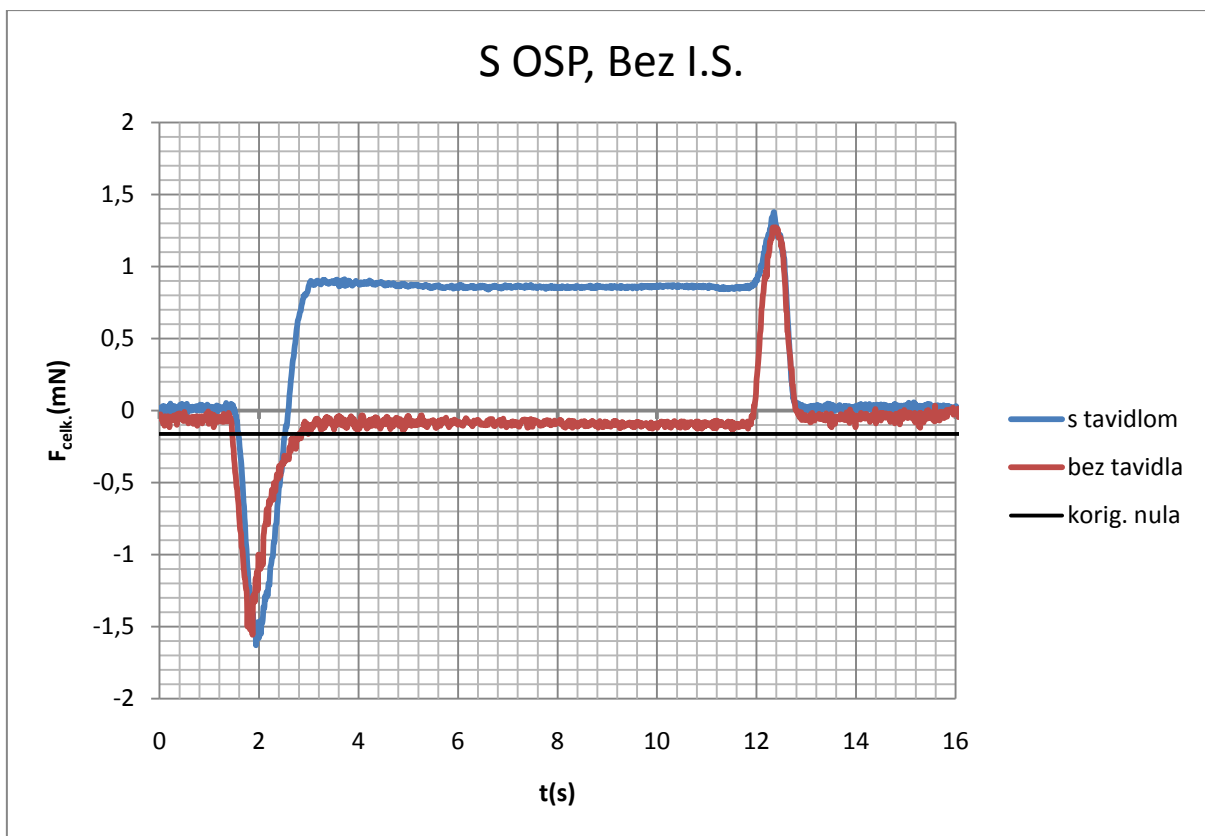
Obrázok 15 Priebehy zmáčacej sily bez použitia tavidla



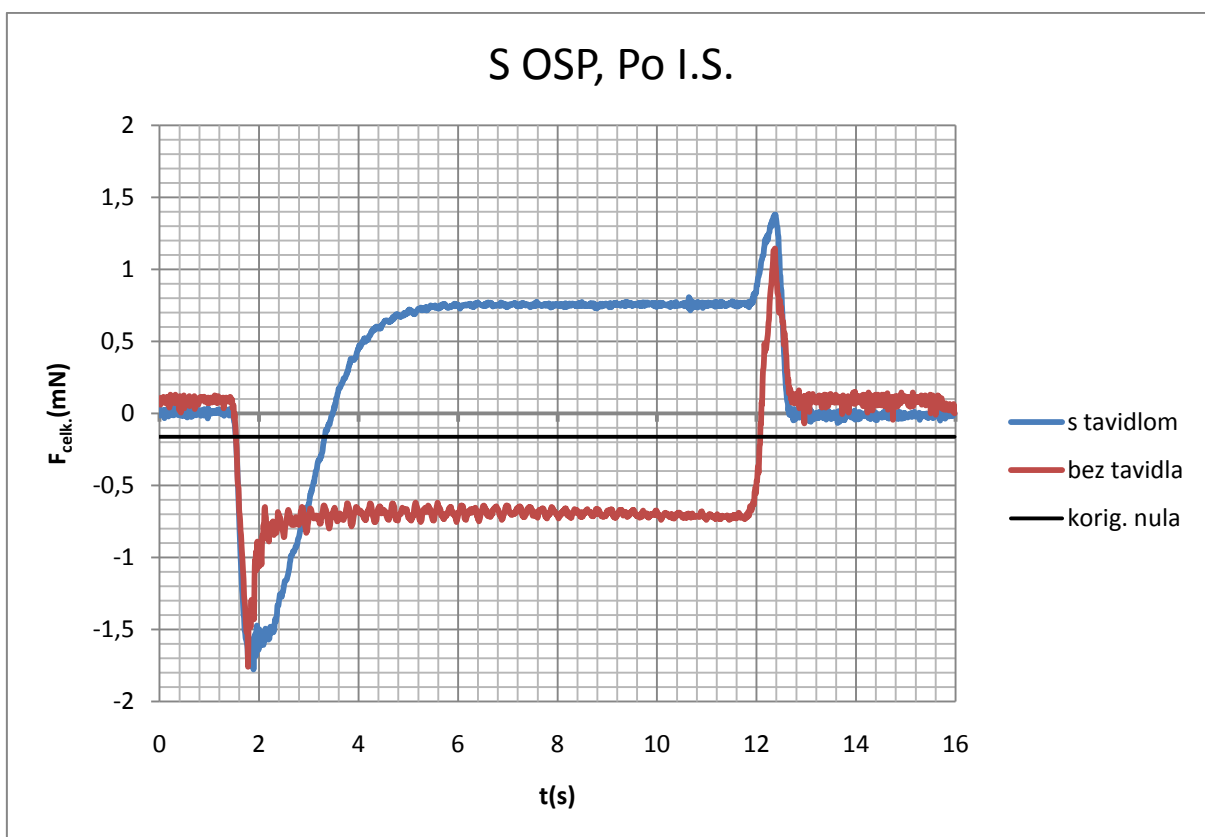
Obrázok 16 Bez OSP, Bez I.S.



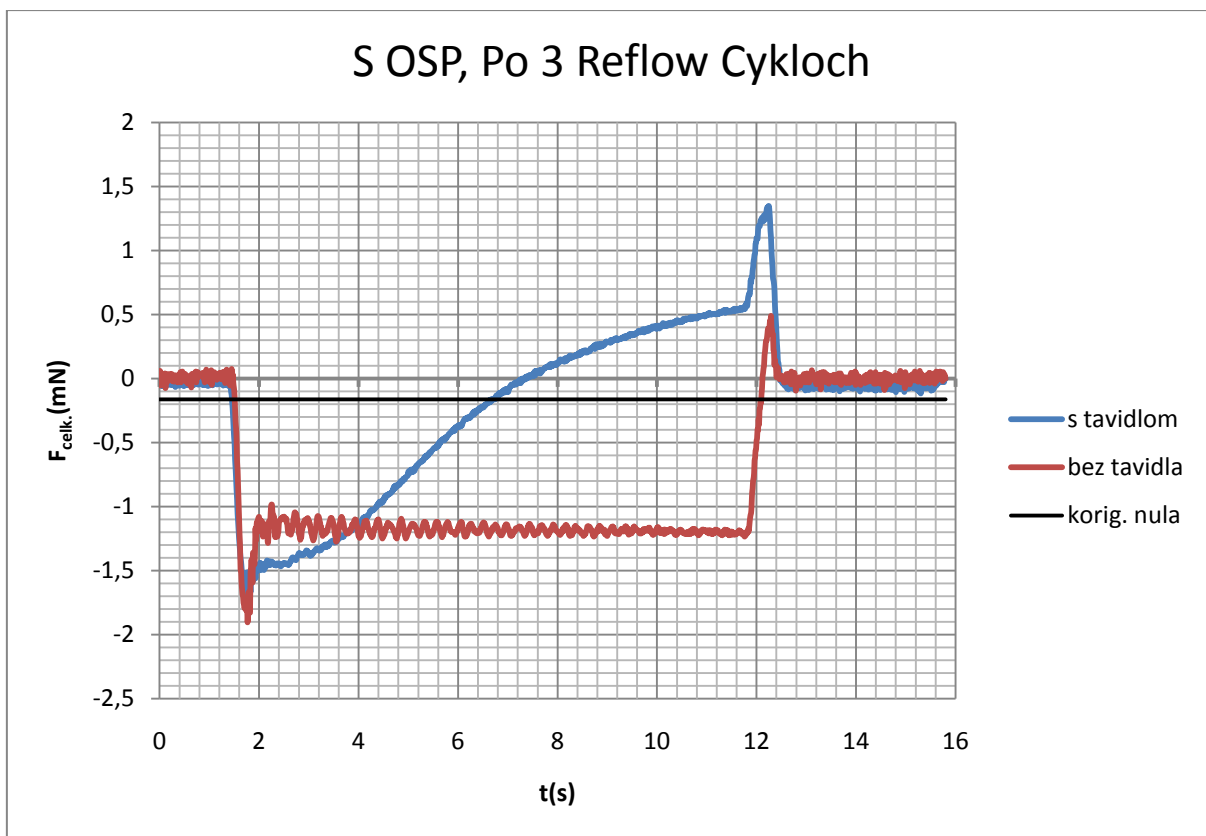
Obrázok 17 Bez OSP, Po I.S.



Obrázok 18 S OSP, Bez I.S.



Obrázok 19 S OSP, Po I.S.



Obrázok 20 S OSP, Po 3 Reflow Cykloch

3.3.3 Porovnanie povrchových úprav OSP Gliccoat F2 s ENIG a imerzným Sn

V predchádzajúcej kapitole bol rozobraný OSP Gliccoat F2 samotný, jeho kvality po vystavení rôznym vplyvom. V tejto kapitole bude ale porovnaný s dvoma ďalšími povrchovými úpravami a síce ENIG a imerzný Sn. To by malo rapídne zvýšiť výpovednú hodnotu tejto práce, nakoľko bude možno OSP Gliccoat F2 kvalitatívne zaradiť v poli povrchových úprav.

Metodika tohto merania je čiastočne odlišná od tej z predchádzajúcej kapitoly. Nebude sa tu rozlišovať použitie tavidla, tavidlo bolo použité pri každom jednom meraní. Ďalej bol okrem stavu po dodaní, vplyvu I.S. a 3 reflow cyklov testovaný vplyv vlhkosti na testované vzorky ošetrené všetkými 3 povrchovými úpravami. Vzorky boli vystavané konštantnej relatívnej vlhkosti 94% v hermeticky uzavretej nádobe po dobu 72 hodín. Vlhkosť bola generovaná nasýteným vodným roztokom K_2CO_3 . Reflow cykly a I.S. mali rovnaké parametre ako v predchádzajúcej kapitole. Vzorky boli vystavované jednotlivým vplyvom vždy spoločne aby sa zaručili identické podmienky.

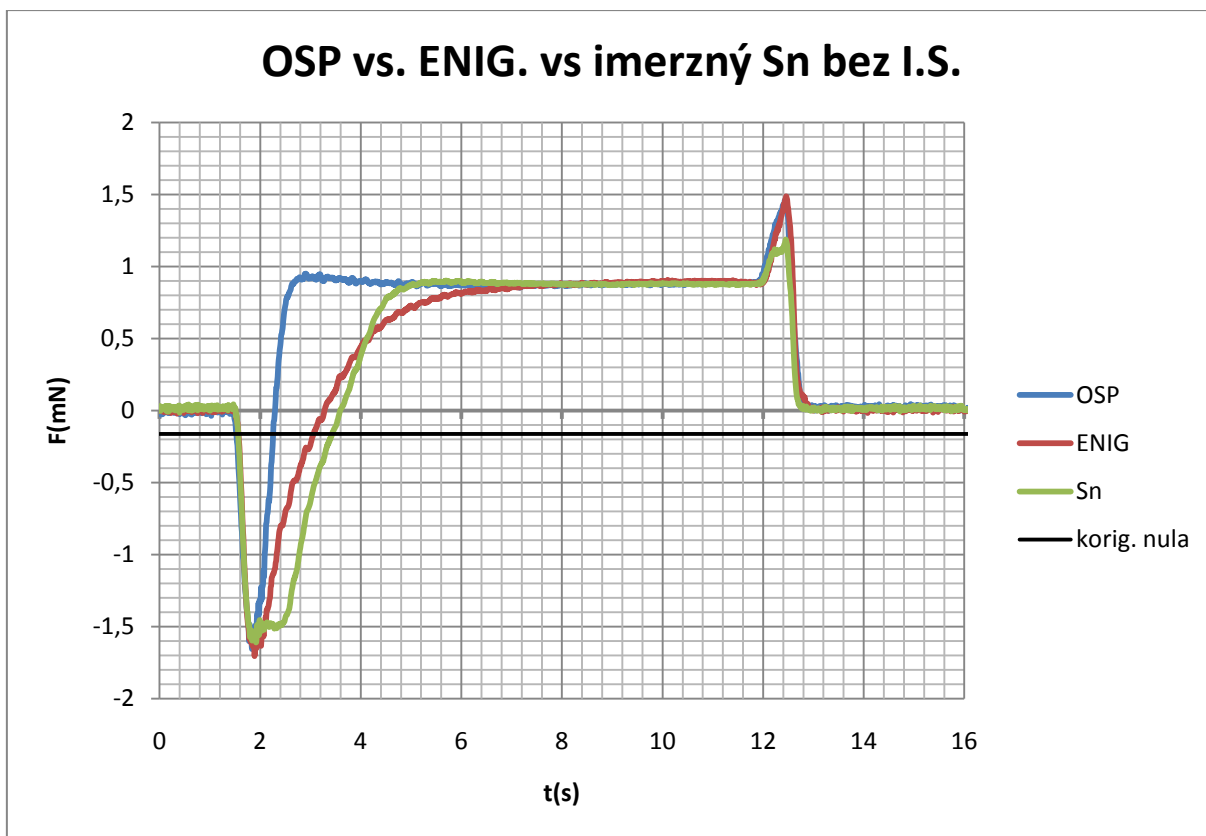
Každý z nameraných priebehov je získaný ako priemer 20 priebehov. Spracovanie hodnôt prebiehalo rovnako ako v predchádzajúcej kapitole, výstupom meranie sú grafické priebehy a parametre F_{MAX} a $t_{2/3}$. V prvých 4 grafoch sú porovnané všetky 3 povrchové úpravy pre každý zo 4 vplyvov. V ďalších 3 grafoch je demonštrovaná zmena priebehu zmáčacej sily pre jednotlivé povrchové úpravy v závislosti na tom, akému vplyvu boli vystavené.

$F_{MAX.}(mN)$											
OSP				ENIG				imerzný Sn			
Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť	Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť	Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť
1,11	1,05	0,11	1,04	1,07	1,04	0,81	1,02	1,07	0,63	-0,86	0,76

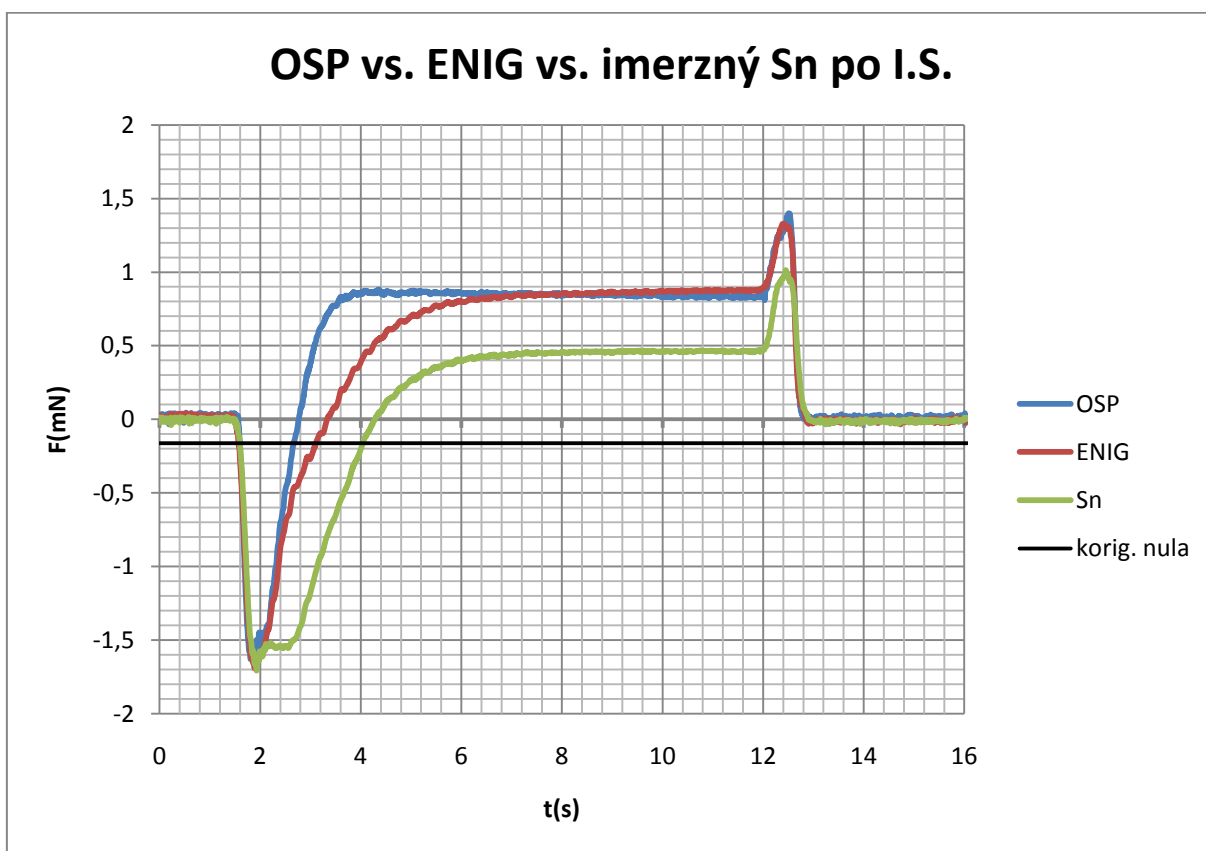
Tabuľka 7 Namerané hodnoty F_{MAX} pre OSP, ENIG a imerzný Sn

$t_{2/3}(ms)$											
OSP				ENIG				imerzný Sn			
Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť	Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť	Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť
970	1550	8900	1070	2740	2800	3580	2940	2680	2260	--	3020

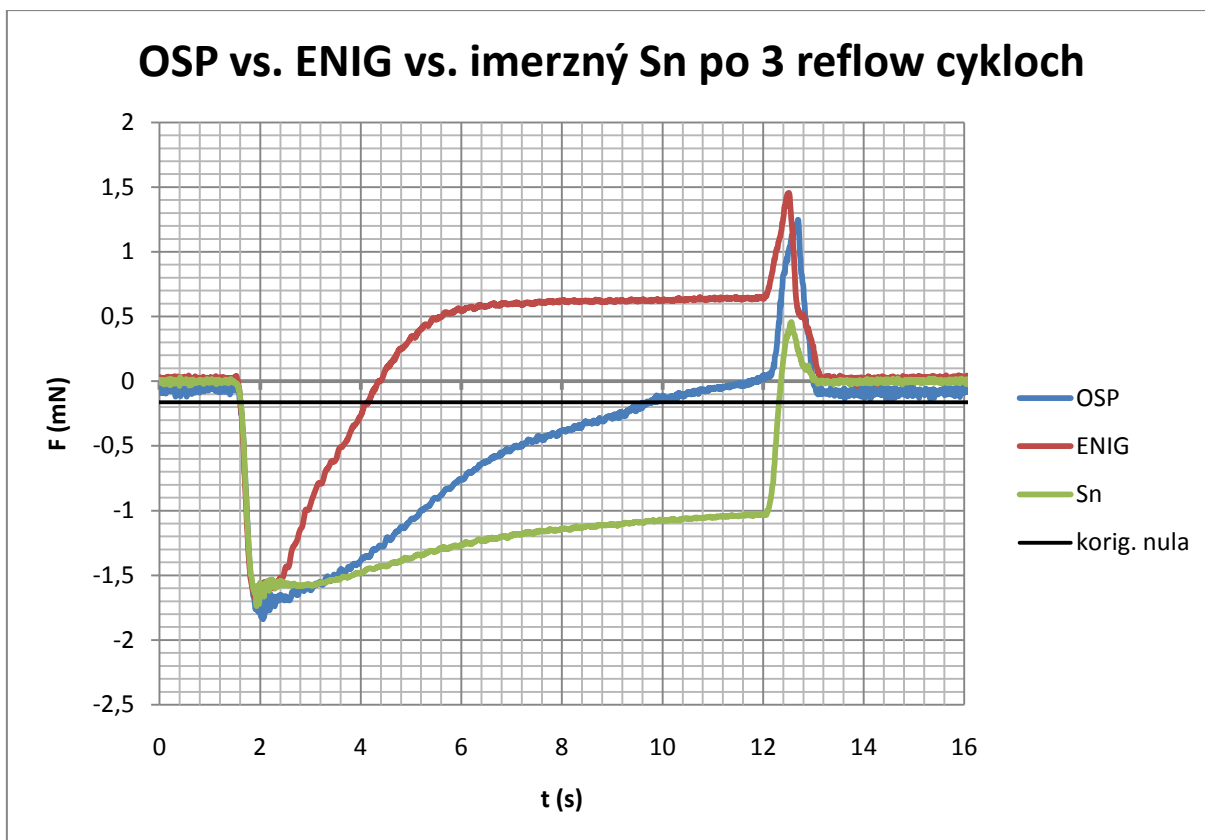
Tabuľka 8 Namerané hodnoty $t_{2/3}$ pre OSP, ENIG a imerzný Sn



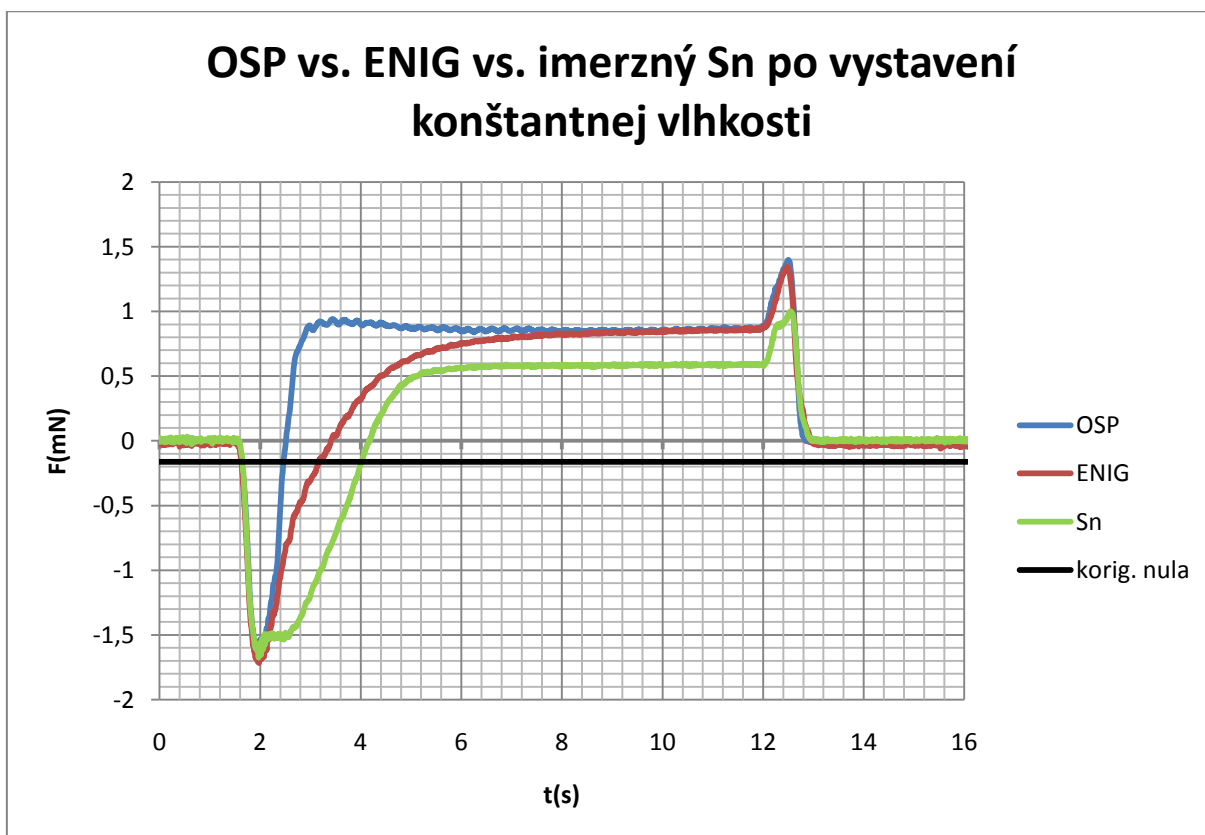
Obrázok 21 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn bez I.S.



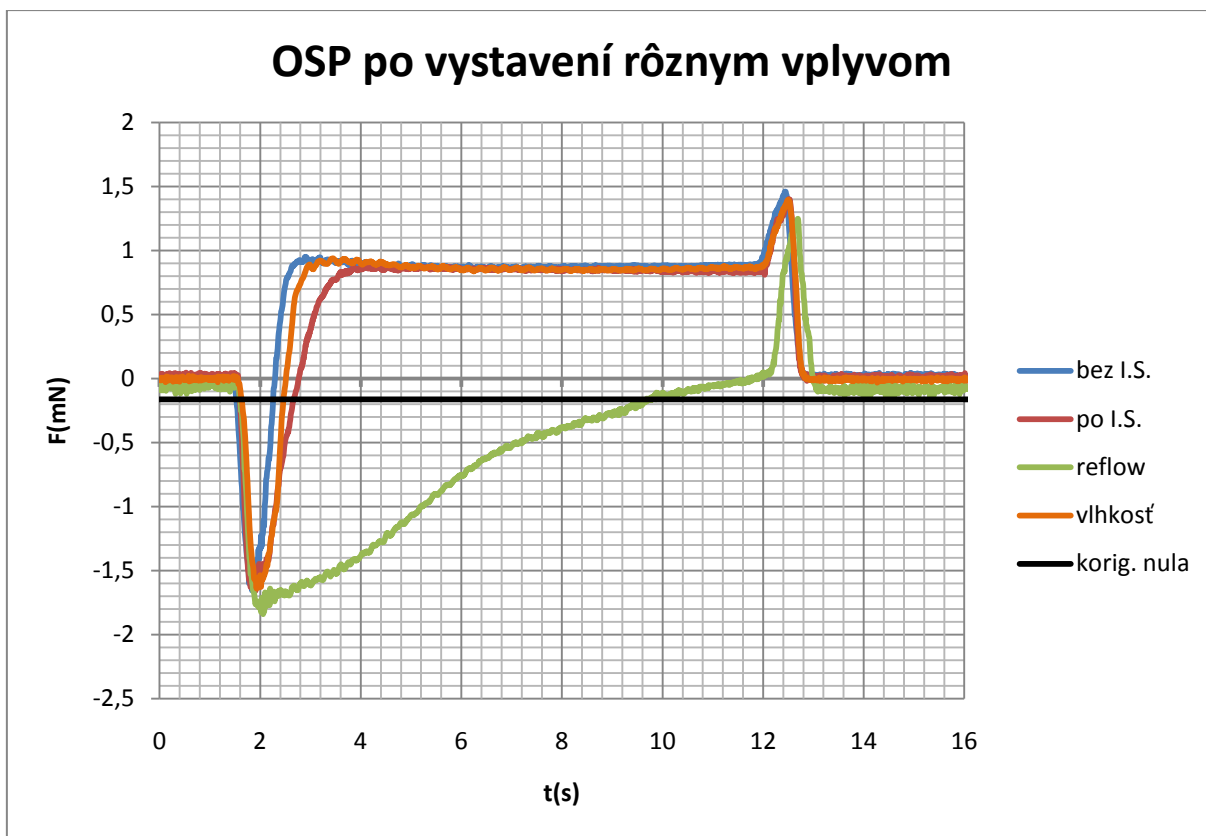
Obrázok 22 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn po I.S.



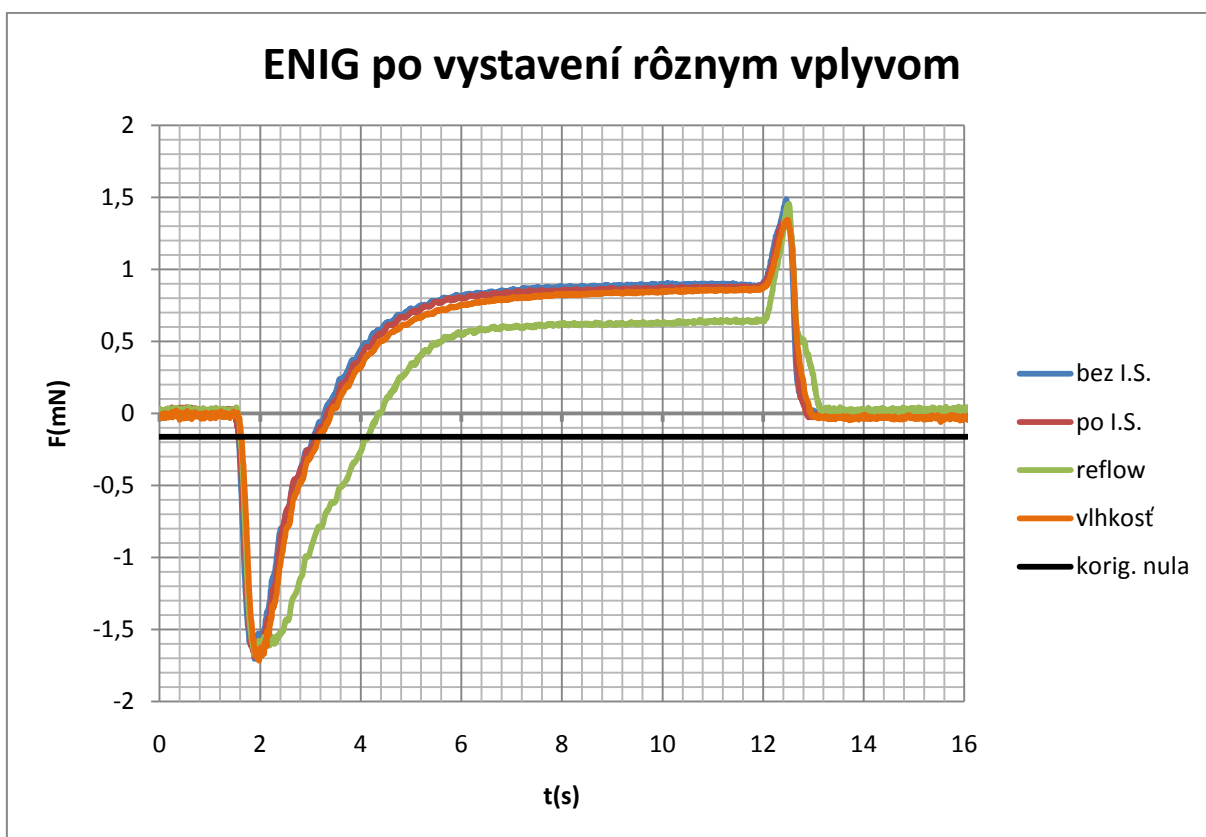
Obrázok 23 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn po 3 reflow cykloch



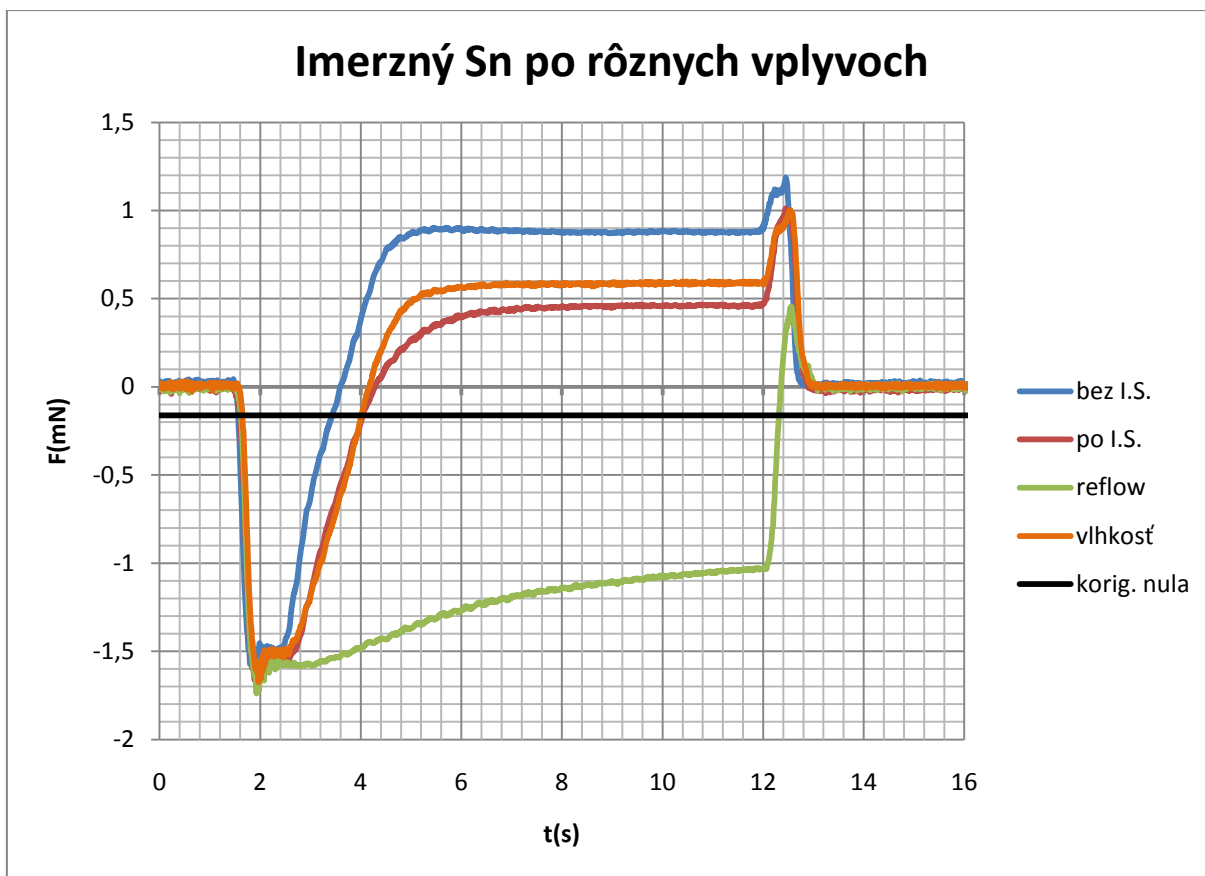
Obrázok 24 Porovnanie povrchových úprav OSP, ENIG a imerzný Sn po vystavení konštantnej vlhkosti



Obrázok 25 OSP po vystavení rôznym vplyvom



Obrázok 26 ENIG po vystavení rôznym vplyvom



Obrázok 27 Imerzný Sn po rôznych vplyvoch

Namerané hodnoty som zobrazil v 7 grafoch pre väčšiu názornosť. V prvých 4 grafoch sú porovnané povrchové úpravy pre jednotlivé vplyvy. Z nich je ľahké určiť ktorá povrchová úprava si počínala najlepšie v jednotlivých situáciách. V ďalších 3 grafoch sú zobrazené priebehy testovaných povrchových úprav pre všetky vplyvy spoločne. Tieto grafy pomôžu pri utvorení predstavy, ako dobre plnia jednotlivé úpravy svoju funkciu po znehodnotení rôznymi faktormi. Pre všetky 3 povrchové úpravy je spoločné, že najväčšie znehodnotenie nastalo po vystavení 3 reflow cyklom, potom I.S. a najmenšie po vystavení vlhkosti.

Z testov rozhodne najhoršie vyšiel imerzný Sn. V stave bezprostredne po pokovení bol síce kvalitatívne porovnateľný s OSP a ENIG, ale po vystavení teplu a vlhkosti veľmi rýchlo degradoval. Z dvojice ENIG a OSP je ťažké určiť víťaza, v praxi by záležalo na konkrétnych požiadavkách pri výrobe DPS. V stave po nanosení OSP, po I.S. a vystavení vlhkosti sa vďaka svojej podstate, tj. extrémne tenká vrstva organického materiálu, prejaví OSP ako najlepšia voľba. Vysoká F_{MAX} je dosiahnutá za veľmi krátky čas, nakoľko roztavená pájka nemá problém dostať sa cez tenkú vrstvu OSP. U ENIG je F_{MAX} taktiež porovnateľne vysoká ako u OSP, ale časy za ktoré ju je schopná nadobudnúť sú oveľa vyššie. OSP začína rapídne strácať na ENIG po 3 reflow cykloch, kedy dochádza k rapídному zhoršeniu zmáčavosti voči ENIG, ktorý si stále zachováva výborné parametre.

Kvantitatívny popis nameraných charakteristík zabezpečovali doteraz parametre F_{MAX} a $t_{2/3}$. Ich nevýhodou je, že sú to 2 separátne čísla a môže tu vzniknúť nezrovnalosť pri porovnávaní priebehov, pretože 2 priebehy môžu mať síce rovnaký $t_{2/3}$, ale diametrálne odlišnú F_{MAX} , čo v praxi znamená iné vlastnosti pri zmáčaní. Preto zavedieme koeficient K , pre ktorý platí

$$K = \frac{F_{MAX.}}{t_{2/3}}$$

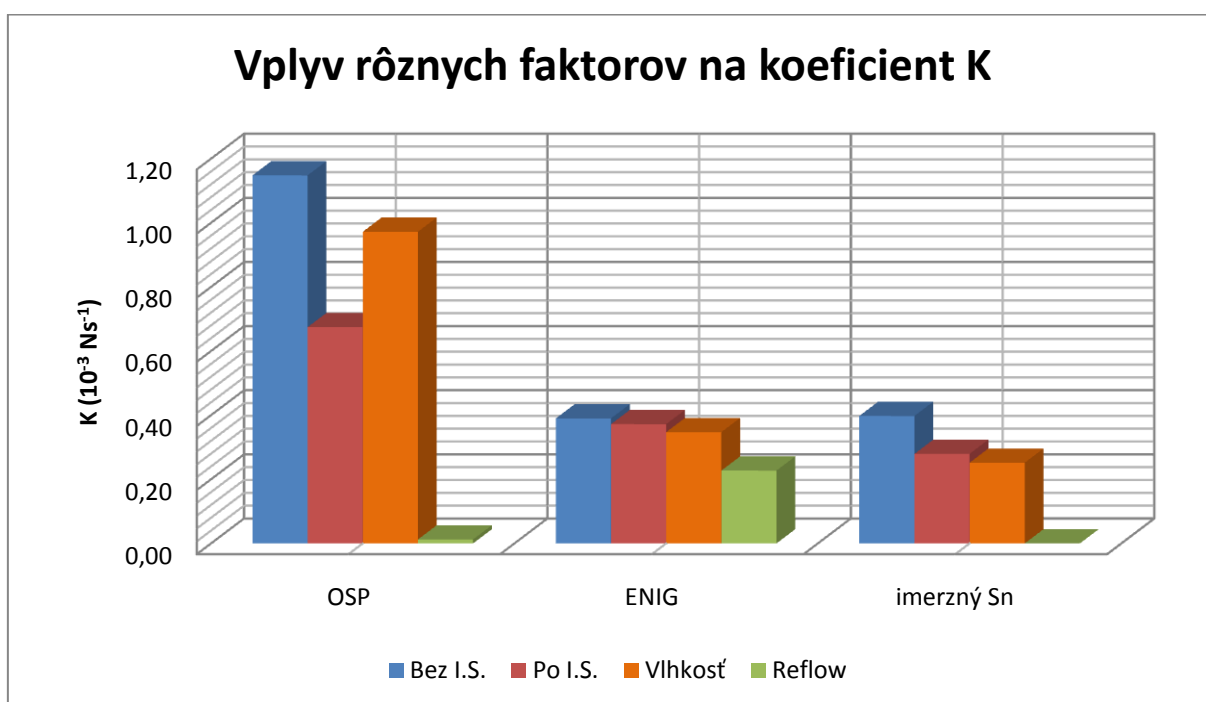
Pre rozmer K platí

$$[K] = \frac{mN}{ms} = \frac{N}{s} = Ns^{-1}$$

K(10⁻³Ns⁻¹)											
OSP				ENIG				imerzný Sn			
Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť	Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť	Bez I.S.	Po I.S.	Reflow	Vlhkosť
1,15	0,67	0,01	0,97	0,39	0,37	0,23	0,35	0,40	0,28	--	0,25

Tabuľka 9 Podiel F_{MAX} a $t_{2/3}$ pre OSP, ENIG a imerzný Sn

Z Tabuľka 9 vidíme že najvyššie hodnoty dosahuje OSP, len pri reflow nastáva silný prepad. ENIG si drží svoju, síce nižšiu, ale stabilnejšiu hodnotu. U imerzného Sn sú hodnoty ešte nižšie ako u ENIG a menej stabilnejšie, čo poukazuje na jeho nižšiu kvalitu.



Obrázok 28 Vplyv rôznych faktorov na koeficient K

4. Záver

Cieľom tejto práce bolo zhodnotiť a porovnať vlastnosti, kvality a parametre vybraných povrchovým úprav používaných v dnešnej dobe.

V prvej časti išlo o zoznámenie sa s procesom pokovovania Cu povrchu atómami Sn a následne overenie výrobcom deklarovanú pokovovaciu rýchlosť. Experiment prebehol úspešne a bez problémov. Zároveň išlo o krásny príklad ako sa spolu s praktickým meraním a teoretickými výpočtami na atómovej úrovni jednoducho dalo dôjsť k reálne aplikovateľnému výsledku.

V druhej časti som prešiel k testovaniu nového produktu z rady povrchových úprav OSP, Gliccoat F2. Prvotná idea bola testovať DPS ošetrované pomocou Gliccoat F2, tomu odpovedal aj návrh testovacieho stanoviska Compacta Bungard a prípravku na ofuk DPS. Ako už bolo písané, nakoniec bola testovaná pájateľnosť Cu kontaktov, resp. Cu drôtu.

Najskôr bol testovaný Gliccoat F2 samotný. Nakoľko ide o nový produkt, ktorý sa zatiaľ bežne nepoužíva, bolo treba overiť korektnosť technologického postupu. Až keď sa ukázal správnym, bolo možné postúpiť ďalej k porovnaniu s konkurenčnými metódami. Už po prvotných testoch, kde bol Gliccoat F2 porovnávaný len s Cu neošetrenou povrchovou úpravou, bolo vidno jeho výrazný pozitívny vplyv na zmáčavosť. Namerané hodnoty pri použití tavidla a bez I.S. boli skoro 2,5-krát väčšie F_{MAX} a 3,5-krát menšie $t_{2/3}$.

Nakoniec bol porovnaný Gliccoat F2 s ENIG a imerzným Sn. Vzorok pokovený ENIG a imerzným Sn zaobstarala firma GATEMA s.r.o.. Pri testovaní som dbal na to aby vzorky všetkých 3 povrchových úprav boli vystavované vplyvom spoločne. Ako sa predpokladalo imerzný Sn vyšiel z testov najhoršie, čo mohlo byť spôsobené aj faktom, že táto povrchová úprava je náchylná na znečistenie rastom intermetalickej zlúčenín a oxidáciou viac ako zvyšné dve. Gliccoat F2 sa ukázal ako výborná úprava, ktorej kvalita ale klesala po vystavení znehodnocujúcim vplyvom. Najväčšie znehodnotenie nastalo po 3 reflow cykloch. Treba ale podotknúť, že v praxi sa používajú 1 alebo 2 reflow cykly, kde by degenerácia OSP vrstvy nebola taká značná, použitie 3 reflow cykloch v testoch predstavuje skôr istú technologickú rezervu, ak by bola doska pájaná 2 reflow cyklami a následne ručne dopájané súčiastky. S týmto nemal skoro vôbec problém ENIG, ktorý sa ukázal ako výborná univerzálna metóda, nakoľko po I.S. a vystavení vlhkosti nedošlo skoro k žiadnej zmene parametrov F_{MAX} a $t_{2/3}$.

Dôležitým faktorom povrchových úprav, je taktiež cena. Celá aplikácia OSP bola veľmi jednoduchá a bezproblémová, imerzný Sn ktorý som realizoval v prvej časti je taktiež nenáročný na postup a potrebné chemikálie. Napriek tomu ENIG je dvojfázová úprava, ktorá je rozhodne komplikovanejšia a celkovo cenovo náročnejšia. OSP navyše zanecháva vrstvu o hrúbke desiatín nm, spotreba materiálu je teda veľmi nízka. Jediným problémom môže byť únik OSP vo forme pár, čo som aj sám pozoroval. Napriek tomu je OSP určite menej náročný na spotrebu materiálu a teda cenovo menej náročný.

5. Použitá literatura

- [1.] Electrochemicals Inc. [online]
http://www.electrochemicals.com/o_final.html#smdf [rev. 2011-01-05]
- [2.] Multicircuits Inc. [online]
http://www.multicircuits.com/pcb/tech/surface_finishes.html [rev. 2011-01-05]
- [3.] Sierracircuits [online]
http://www.articlealley.com/article_1729026_10.html [rev. 2011-01-05]
- [4.] Freetronics [online]
<http://www.freetronics.com/pages/pcb-surface-finishes> [rev. 2011-01-05]
- [5.] Brian Toleno [online]
<http://www.emsnow.com/npps/story.cfm?ID=9784> [rev. 2011-01-05]
- [6.] Don Gudeczaukas [online]
<http://www.uyemura.com/under-bump-metallization.htm> [rev. 2011-01-05]
- [7.] Allan Wilcox [online]
<http://www.pcbfab.com/immersion-tin-final-finish/> [rev. 2011-01-05]
- [8.] Martin Tarr [online]
http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0143_cfng/index.html [rev. 2011-01-05]
- [9.] Phil Zarrow [online]
<http://www.circuitsassembly.com/cms/magazine/95/6359> [rev. 2011-01-05]
- [10.] COOMBS, Clyde F. *Printed circuits handbook*. McGraw-Hill Professional, 2007.
- [11.] CARANO Michael. *Gliccoat SMD Organic Solderability Preservatives*. [online]
<http://www.electrochemicals.com/gliccoatart.pdf> [rev. 2011-01-05]
- [12.] STARÝ, Jiří; KAHLE, Petr. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, s. 46

- [13.] David H. Ormerod [online]
http://www.smta.org/files/SurfaceFinishes00_ormerod.pdf [rev. 2011-01-05]
- [14.] STARÝ, Jiří. *MMOT LABORATORNÍ ÚLOHA Č. 3*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, s. 17
- [15.] BEDLEK, M. Povrchové úpravy mědi při výrobě DPS. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 24 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Jiří Starý, Ph.D..

6. Zoznam použitých symbolov a skratiek

DPS	Doska Plošných Spojov
HASL	Hot Air Solder Leveling
HAK	Hot Air Knife
ENIG	Electroless Nickel Immersion Gold
OSP	Organic Soldering Preservatives
Au	zlato
Sn	cín
Ni	nikel
Cu	meď
Pd	paládium
lead-free	bez olovnatý
RoHS	Restriction of Hazardous Substances Directive
ENEPIG	Electroless Nickel Electroless Palladium Immersion Gold
PÚ	Povrchová Úprava
A_r	relatívna atómová hmotnosť
N_A	Avogadrova konštanta
I.S.	izotermálne starnutie
DI	deionizovaná
H_2SO_4	kyselina sírová
H_2O_2	peroxid vodíka
$CuSO_4 \cdot 5 H_2O$	pentahydrát síranu mednatého (modrá skalica)
K_2CO_3	uhličitan draselný
reflow	pretavenie